This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

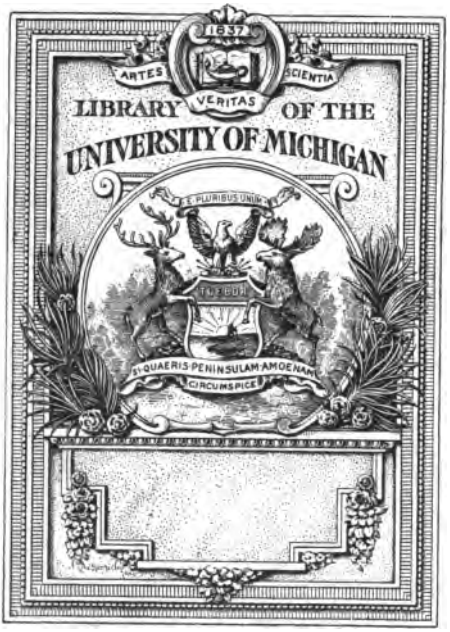
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

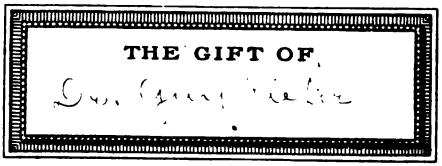
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE


THE GIFT OF

Q
1.13
.A665

Dominique François Jean

(Franz) Arago's

sämmtliche Werke.

Mit einer Einleitung

von

Alexander von Humboldt.

Deutsche Original-Ausgabe.

Herausgegeben

von

Dr. W. G. Hankel

ord. Professor der Physik an der Universität Leipzig.

Zehnter Band.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1859.

Wissenschaftliche Abhandlungen.

Abhandlung über die Farben dünner Blättchen;

gelesen am 18. Februar 1811

in der mathematisch-physischen Klasse des kaiserlichen Instituts von Frankreich und abgedruckt 1817 in den Memoiren der Gesellschaft von Arcueil.*)

Dünne Blättchen aller in der Natur vorkommenden Körper zeigen, wenn ihre Dicke hinreichend gering ist, sowohl im reflectirten, als auch im durchgelassenen Lichte sehr lebhafte Farben von allen Nuancen. Die Physiker haben sich viel mit dem Studium der Gesetze, von denen die Entstehung dieser Farben abhängt, beschäftigt, und sind zu mehreren wichtigen Resultaten gelangt; die Ursache ihrer Entstehung ist indeß noch sehr verborgen.

In der nachfolgenden Abhandlung beabsichtige ich speciell einige neue Beobachtungen mitzutheilen, welche vielleicht einst dazu beitragen werden, die Ursache jener merkwürdigen Erscheinung aufzufinden, und die für jetzt nöthigenfalls würden dienen können, um darzuthun, daß die Mehrzahl der von ihr gegebenen Erklärungen unrichtig oder ungenügend ist. Ich habe geglaubt, mir die rein theoretischen Erörterungen nicht versagen zu dürfen, sobald sie als unmittelbare Folgerungen aus dem behandelten Gegenstande sich darstellten. In allen Fällen aber hoffe ich, daß man sie entschuldigen wird, wenn man erwägt, daß die Farben dünner Platten wegen der eigenthümlichen Umstände, unter denen sie sich bilden, der Prüfstein gewesen sind, nach welchem man gewöhnlich die Theorieen des Lichts beurtheilt hat; daß

*) Vergl. über diese Abhandlung eine in dem Aufsatze über die Polarisation des Lichtes im 7. Bande befindliche Notiz.

Newton ihrer Untersuchung ein ganzes Buch seiner Optik gewidmet, und sie dann benutzt hat, um die natürlichen Farben der Körper zu erklären und daß endlich dieselben unabhängig von jeder Anwendung um so mehr aus allen möglichen Gesichtspunkten studirt zu werden verdienen, weil sie mit der besondern Weise, in welcher die Körper auf die Lichtmolecüle wirken, sehr eng zusammenzuhängen scheinen.

Die Farben dünner Platten zeigen sich unter zu vielen verschiedenen Umständen, als daß man annehmen könnte, sie wären in den früheren Jahrhunderten ganz unbekannt gewesen. Indeß ist, wenn ich mich nicht irre, Boyle der erste Physiker, dessen Werke einige nähere Angaben über dieses Phänomen enthalten. In einer vortrefflichen Schrift, Experiments and observations upon colours, welche 1663 zum ersten Male gedruckt wurde, und den Anfang des zweiten Bandes in der Ausgabe von Shaw bildet, erörtert Boyle mit seltenem Scharfsinn einige der Theorieen, welche damals in den Schulen herrschend waren, und bei dieser Gelegenheit führt er, um den zu seiner Zeit lebenden Chemikern zu beweisen, daß sich durch dieselben Körper, ohne ihre Bestandtheile zu verändern, eine sehr große Mannigfaltigkeit von Farben erhalten läßt, die Blasen an, welche durch Hineinblasen von Luft mittelst eines Rohres in ätherische Oele, rectificirten Weingeist, Seifenwasser u. s. w. entstehen, und setzt hinzu, er habe bisweilen Glasblasen gefunden, auf denen ohne Weiteres zahlreiche Farben sichtbar waren, weil man sie beim Blasen äußerst dünn gemacht hatte.

Von den Versuchen Boyle's, die sich auf dieses Phänomen beziehen, kann ich noch seine Experimente über die Farben des in verschiedenem Grade angelassenen Stahles, und besonders die interessante Beobachtung erwähnen, daß zu sehr dünnen Blättchen geschlagenes Gold durchsichtig wird und, während es im reflectirten Lichte seine gelbe Farbe behält, im durchgelassenen Lichte grünlich erscheint.

Hooke hat der Beschreibung der Farben, die man auf dünnen Körpern im Allgemeinen bemerkt, insbesondere aber der Erörterung derjenigen, welche gewisse Theile von Glimmerblättchen zeigen, ein ganzes Kapitel seiner Micrographia gewidmet. Mittelst der Loupe fand er, daß diese Farben in concentrische Ringe angeordnet sind, deren mehr oder weniger regelmäßige Form von der Gestalt des centralen

Fleckens abzuhängen scheint. Derselbe Verfasser hat noch folgende wichtige Beobachtungen gemacht:

1) Daß die Farben der verschiedenen Ringe in derselben Ordnung auf einander folgen, wie im Nebenregenbogen, dergestalt, daß, wenn man von dem Flecken in der Mitte beginnend nach außen geht, dieselbe sein würde: blau, purpur, scharlach, gelb, grün; . . . blau, purpur, scharlach u. s. f.

2) Daß diese Reihenfolge stets dieselbe ist, welches auch die Farbe des centralen Fleckens sein möge, so daß, wenn letzterer blau ist, der erste Ring purpur, der zweite roth u. s. w. erscheint, während, wenn die Mitte roth ist, um sie zunächst ein gelber Ring sich zeigt, an welchen sich unmittelbar ein grüner anschließt u. s. f.

3) Daß die Ringe von einer bestimmten Farbe um so breiter sind, je näher sie dem centralen Flecken liegen.

4) Daß die Ringe ihren Ort ändern, wenn man das Blättchen auf der einen oder andern Seite mit den Fingern drückt.

5) Daß endlich noch Farben sichtbar bleiben, wenn man irgend eine durchsichtige Flüssigkeit zwischen die beiden aneinander liegenden Blättchen einer Glimmertafel bringt.

Nachdem Hooke diese Resultate mitgetheilt hat, erwähnt er weiter, daß man künstlich ganz ähnliche Ringe, wie die in dem russischen Glimmer beobachteten erzeugen kann, wenn man zwei gut gereinigte Brillengläser auf einander legt. Er fügt hinzu, daß irgend eine durchsichtige, zwischen die beiden Linsengläser gebrachte Flüssigkeit dieselbe Erscheinung hervorruft, wie die Luft, jedoch mit dem Unterschiede, daß die Farben um so lebhafter erscheinen, je mehr die Brechungsexponenten der einschließenden Medien und der dazwischen gebrachten Flüssigkeit von einander abweichen.

Aus dem kurzen Auszuge, den ich von Hooke's Versuchen gegeben habe, sieht man, wie dieser Physiker nicht nur erkannt hatte, daß die dünnen Blättchen aller Körper die Regenbogenfarben zeigen, sondern auch einige der eigenthümlichen Umstände bemerkt, welche Newton später so geschickt in seiner schönen Analyse dieses Phänomens benutzte. Bevor ich zu den Versuchen dieses großen Geometers übergehe, muß ich indessen noch hervorheben, daß Hooke durch mikro-

skopische Beobachtungen gezeigt hatte, daß sehr dünne Glimmerblättchen, wenn sie in einer ziemlich großen Ausdehnung dieselbe Farbe zeigen, überall dieselbe Dicke besitzen; ferner daß, wenn man zwei solche verschiedene Farben darbietende Blättchen über einander legt, die zusammengesetzte Platte eine Farbe besitzt, welche von der Farbe eines jeden einzelnen Blättchens verschieden ist; und endlich, daß die Farben überhaupt sich nur zwischen zwei bestimmten mit der Beschaffenheit der Körper veränderlichen Dicken zeigen, so daß ein zu dünnes Glimmerblättchen ebensowenig eine Farbe darbietet, als wenn seine Dicke zu beträchtlich ist.

Hooke's Schrift, in welcher diese Resultate mitgetheilt werden, erschien in London 1665, also ungefähr 6 Jahre vor der Veröffentlichung der ersten Versuche Newton's. Es findet sich darin außerdem auch eine Erklärung der Farben dünner Blättchen, die einige Aehnlichkeit mit derjenigen besitzt, welche Thomas Young von demselben Phänomene in mehreren sehr interessanten Abhandlungen, die in den letzten Bänden der Philosophical Transactions stehen, und auf welche ich im Verlaufe dieser Arbeit zurückzukommen Gelegenheit haben werde, gegeben hat.

Wie wir gesehen haben, zeigten Hooke's Versuche nur, daß Blättchen von verschiedener Dicke verschiedene Farben geben. Newton hat dies Resultat dahin erweitert, daß dieselbe Farbe sich auf den Blättchen irgend einer Substanz wiederholt, wenn ihre Dicken sich verhalten wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. Dieser große Physiker hat auch durch directe mit Linsengläsern von großer Brennweite ausgeführte Versuche ermittelt, bei welcher Dicke einer Luftschicht die verschiedenen prismatischen Farben zum ersten Male auftreten. Als er eine Flüssigkeit zwischen zwei Linsen brachte, fand er, ebenso wie Hooke, daß die Farben blasser werden; er fügte aber noch die wichtige Beobachtung hinzu, daß die Ringe sich zusammenziehen, so daß die Dicke, welche man einem bestimmten Körper geben muß, damit er eine bestimmte Farbe erhält, um so geringer wird, je größer die brechende Kraft dieses Körpers ist. Die Beschaffenheit der Mittel, zwischen denen das Blättchen eingeschlossen war, schien übrigens keinen

Einfluß auf die besondere Art von Farbe, die es reflectirte, zu haben u. s. w.

Die Unordnung, welche die Ringe in der Aufeinanderfolge ihrer Farben in gewissen Abständen vom Centrum darbieten, schien sehr schwierig zu erklären; als Newton aber die Linsengläser nur mit homogenem Lichte beleuchtete, fand er, daß diese scheinbare Unordnung durch das theilweise Uebereinanderfallen mehrerer verschieden gefärbter Ringe entsteht, und zog aus dieser Beobachtung mehrere wichtige Folgerungen. Ich will mich hier nicht bei ihrer Aufzählung aufhalten; mein Zweck bei dieser geschichtlichen Einleitung ist blos, unter den Versuchen Newton's und der ihm folgenden Physiker diejenigen namhaft zu machen, welche mit den von mir wahrgenommenen Erscheinungen in irgend einer Beziehung stehen.

Mariotte hat sich ebenfalls mit den Farben dünner Blättchen beschäftigt, jedoch, wie es scheint, in der Absicht zu zeigen, daß sie von der Brechung abhängen, welche das Licht in den Furchen, womit er die Blättchen bedeckt annahm, erleiden sollte: nach seiner Hypothese hätte die Dicke des Körpers wohl einigen Einfluß auf die Erzeugung der Farben, indessen schien ihm ein gewisser Grad von Convergenz zwischen der ersten und zweiten Oberfläche die wesentliche Bedingung zu sein, von welcher die Beschaffenheit der reflectirten Farben abhinge; er behauptet sogar, sich überzeugt zu haben, daß Glasplatten, wie dünn sie auch sein möchten, keine Farben zeigten, sobald sie parallele Oberflächen besäßen; die Beobachtungen aber, auf die er sich hierbei stützte, scheinen unrichtig oder ungenügend zu sein. Doch findet sich unter diesen letztern eine, die einige Aufmerksamkeit verdienen dürfte; es ist dies eine Beobachtung über die Ringe, welche sich zwischen zwei ebenen Glasplatten bilden. Mariotte hat sich nämlich überzeugt, daß in diesem Falle das bloße Aufeinanderlegen der Gläser, auch wenn es mit einem beträchtlichen Drucke verbunden ist, nicht hinreicht, um die Farben hervorzurufen, wie bei Anwendung von Linsen, sondern daß diese Gläser durchaus an einander gerieben werden müssen; hat man aber durch eine solche, längere Zeit fortgesetzte Bewegung ein erstes Mal diese Wirkung erhalten, so geben die getrennten Gläser später beim erneuten Zusammenlegen farbige Ringe, ohne daß sie aneinander

geriehen zu werden brauchen, vorausgesetzt, daß die in Berührung befindlichen Oberflächen nicht abgewischt worden sind. *)

Diese Erfahrung Mariotte's ist seitdem wieder durch den Abbé Mazéas, dem Mariotte's Mittheilung wahrscheinlich unbekannt geblieben war, in einer Abhandlung vorgetragen worden, die zuerst in den Abhandlungen der berliner Akademie vom Jahre 1774 und dann mit einigen Zusätzen im 10. Bande der Savants étrangers erschienen ist.

Der folgende Band derselben Abhandlungen enthält Untersuchungen von Dutour, die sich speciell auf die Versuche von Mazéas beziehen, und einige ihm eigenthümliche Beobachtungen. Anstatt die beiden übereinander liegenden Gläser im freien Tageslichte zu betrachten, hatte Dutour die Idee, sie nur durch ein dünnes Lichtbündel zu erleuchten, das sie unter einer Neigung traf, deren Größe durch die in jedem einzelnen Versuche gewählte Lage der engen Röhre bestimmt wurde, durch

*) Der Traité de la lumière et des couleurs, in welchem diese Erfahrung mitgetheilt ist, erschien nach Mariotte's Tode in seinen vollständigen Werken. Man muß sich wundern, daß ein so geschickter Physiker der Theorie der ungleichen Brechbarkeit der verschieden gefärbten Strahlen seine Beistimmung versagte und besonders, daß er diese durch eine Prüfung, deren Unvollkommenheit klar vorlag, beseitigt zu haben glaubte. In andern Beziehungen verdient übrigens dies Werk die Vergessenheit nicht, in welcher es geblieben zu sein scheint. Auf S. 288 findet sich z. B. eines der interessantesten Resultate der neuern Physik, dessen Entdeckung man gewöhnlich Scheele zuschreibt, nämlich die Entdeckung der eigenthümlichen Verschiedenheit, welche zwischen der aus irdischen Quellen stammenden und der das Sonnenlicht begleitenden Wärme vorhanden ist. Mittelst eines sehr einfachen Versuchs zeigt Mariotte in der That, daß die erstere beim Durchgange durch eine klare Glasplatte fast vollständig absorbirt wird, während die zweite unter denselben Umständen nur eine sehr kleine und mit der Menge Licht, welche an der Ein- und Austrittsfläche reflectirt wird, im Verhältniß stehende Verminderung erleidet.

Dieselbe Schrift enthält auch die natürlichste Erklärung, welche man noch von den großen Höfen gegeben hat, die unter gewissen Umständen sich um Sonne und Mond zeigen, und die erste Beschreibung, die ich aufgefunden habe, von den verschieden gefärbten supplementaren Bogen, welche den innern Regenbogen begleiten. Die Abhandlungen von Langwith und Pemberton, welche bei dieser Gelegenheit in den Werken über Optik allein genannt werden, sind erst vierzig Jahre nach Mariotte's Arbeit erschienen.

welche das Licht hindurchging. War das Auge in eine passende Lage gebracht, so sah man mit diesem Apparate durch die an der zwischenliegenden Luftschicht reflectirten Strahlen ein erstes farbiges Bild und außerdem ein zweites complementär gefärbtes von der zweiten Fläche des untern Glases reflectirtes Bild. Diese beiden Bilder standen übrigens um so weiter von einander ab, je beträchtlicher die Dicke dieser untern Glasplatte war; beide waren aber unter allen Neigungen sichtbar.

Das zweite Bild entspricht den Ringen, welche vom durchgelassenen Lichte entstehen, jedoch mit dem besonderen Umstande, daß in dem beschriebenen Versuche das Licht dieser letztern Ringe zwei Mal die zwischen den Gläsern eingeschlossene Luftschicht durchdringt.

In einer Abhandlung der Philosophical Transactions von 1807 hat Herschel gezeigt, daß, wenn man den Schatten eines undurchsichtigen Körpers auf die Fläche der obern Linse fallen läßt, bei passender Stellung des Auges selbst in freier Luft ein, zwei oder sogar drei Bilder von Ringen, welche dem durchgelassenen Lichte entsprechen, wahrgenommen werden. Diese Bilder entstehen auf dieselbe Weise, wie bei dem Versuche Dutour's; das erste nämlich durch das von der zweiten Fläche des untern Glases reflectirte Licht, das zweite durch denjenigen Theil dieses Lichtes, welcher von der ersten Fläche zur untern zurückgeworfen, von hier durch den ganzen Apparat zurückkehrt und zum Auge gelangt u. s. f.

Wenn die Ringe sich, wie bei Newton's Versuchen, zwischen zwei Glaslinsen bilden, so geht der Theil des Lichtes, welcher zu den gefärbten zurückgeworfenen Strahlen complementär ist, durch das untere Glas hindurch und erzeugt die Ringe, die man im durchgelassenen Lichte wahrnimmt. Herschel hat gefunden, daß gleichfalls Ringe entstehen, wenn man eine Glaslinse auf einen gut polirten Metallspiegel legt, und beobachtet, daß das gefärbte Licht, welches den untern Spiegel, falls er durchsichtig wäre, durchdringen würde, großentheils von dem Metalle absorbirt werden muß. Ich werde weiterhin den Nutzen nachweisen, den ich aus dieser neuen Art die farbigen Ringe zu erzeugen gezogen habe, die übrigens bereits in einer zu Paris 1788 gedruckten Sammlung von Abhandlungen über optische Gegenstände

beſchrieben war. Ich verſpare ebenfalls die Aufzählung der mehr oder weniger eigenthümlichen Theorieen, welche dieſe Erſcheinung hervorgerufen hat, um ſie ſpäter einer ins Einzelne gehenden Discuſſion zu unterwerfen.

Da die Verſuche, welche den Gegenſtand dieſer Abhandlung ausmachen, zum größten Theil ſich auf das Phänomen der Polariſation des Lichtes beziehen, ſo habe ich es vor ihrer Mittheilung der Neuheit der Sache wegen für zweckmäßig gehalten, in der Kürze an die Bedeutung der Ausdrücke zu erinnern, die zu gebrauchen ich Gelegenheit haben werde.

Bekanntlich theilt ſich ein Lichtſtrahl in zwei Bündel von gleicher Intenſität, wenn er durch einen jener durchſichtigen Kryſtalle hindurchgeht, die man aus dieſem Grunde doppeltbrechende genannt hat. Ein Umſtand bei dieſem Phänomene, der ebenſo auffällig iſt, wie die Spaltung des einfallenden Lichtbündels, beſteht darin, daß beide austretenden Bündel Eigenſchaften beſitzen, die ſie vom gewöhnlichen Lichte unterſcheiden; letzteres erzeugt nämlich, wie eben erwähnt, ſtets zwei gleich intenſive Bündel, welches auch die Stellung des von ihm durchdrungenen Kryſtalles ſein möge, während dagegen die relativen Intenſitäten der Bilder, welche einer der aus einem doppeltbrechenden Kryſtalle austretenden Strahlen liefert, von der Lage des zweiten Kryſtalles, welchen das Licht durchdringen ſoll, in Bezug auf den erſten abhängen. Wenn z. B. der aus einem Doppelſpathe austretende regelmäßige Strahl durch einen zweiten ähnlichen Kryſtall hindurchgeht, ſo gibt er nur einen regelmäßigen Strahl, falls die Hauptſchnitte beider Kryſtalle parallel ſind, und nur einen unregelmäßigen, falls dieſelben aufeinander ſenkrecht ſtehen, ſo daß für dieſe Lagen und dieſe Art von Strahl der zweite Kryſtall nicht doppeltbrechend zu ſein ſcheint. Wenn dagegen die Hauptſchnitte der beiden aufeinander gelegten Kryſtalle unter einander einen Winkel von 45° bilden, ſo wird der aus dem erſten als regelmäßiger ausfahrende Strahl im zweiten in zwei Bündel von gleicher Intenſität geſpalten. In jeder andern Lage der Kryſtalle wird man ebenfalls zwei Bündel, aber von verſchiedenen Intenſitäten erhalten. Der unregelmäßige Strahl bietet analoge Erſcheinungen dar.

Man ſieht aus dem Vorſtehenden, daß z. B. der aus einem Kalkſpathrhomboeder austretende regelmäßige Strahl beim Durchgehen durch einen zweiten Kryſtall, je nachdem der Hauptſchnitt des letztern die eine oder die andere Lage hat, regelmäßig oder unregelmäßig gebrochen wird. Die Seiten des Strahles ſind folglich mit verſchiedenen Eigenſchaften begabt; man hat ſie mit dem Namen Pole bezeichnet. Das Licht wird aber nicht nur bei der Doppelbrechung, ſondern auch noch unter andern ſehr merkwürdigen, von Malus entdeckten Umſtänden polariſirt. Um übrigens einen polariſirten Lichtſtrahl, mag er ſeine Polariſitation erhalten haben, wie er will, von einem gewöhnlichen Strahle zu unterſcheiden, reicht es hin, den einen und den andern mit einem Doppelſpathe zu unterſuchen; derjenige, welcher in einigen beſonderen Lagen des Kryſtalles nur ein einziges Bündel gibt, iſt ein vollſtändig polariſirter Strahl; ein gewöhnlicher Lichtſtrahl dagegen liefert ſtets zwei gleich intenſive Bilder.

Wenn Strahlen aus einem Theile vollſtändig polariſirten und einem andern Theile gewöhnlichen Lichtes zu beſtehen ſcheinen, ſo nennt man ſie partiell polariſirte Strahlen; ihre Eigenſchaften liegen ſo zu ſagen zwiſchen denen der beiden erſten Klaſſen in der Mitte: wie die gewöhnlichen Strahlen geben ſie beim Durchgange durch ein Doppelſpathrhomboeder ſtets zwei Bilder, und wie bei vollſtändig polariſirtem Lichte ändern ſich die Intenſitäten der beiden Bündel mit der Lage des Hauptſchnittes des Kryſtalles.

Ich gehe jetzt zu meinen eigenen Beobachtungen über.

Geſetzt man unterſuche die Reihe der farbigen Ringe, welche den Berührungspunkt zweier auf einander gelegten Glaslinſen umgeben, mit einem Kalkſpathrhomboeder, deſſen Hauptſchnitt ſenkrecht oder parallel zur Reflexionsebene*) liegt, ſo werden bei ſenkrechter Incidenz die beiden Bilder der Ringe dieſelbe Intenſität haben; vermindert man die Neigung, ſo wird das eine derſelben allmälich ſchwächer, verſchwin-

*) So nennt man die Ebene, in welcher die Reflexion erfolgt, oder anders ausgedrückt diejenige, welche gleichzeitig durch den einfallenden und den zurückgeworfenen Strahl geht. Dieſe Ebene darf nicht mit der reflectirenden Ebene verwechſelt werden; denn dieſe letztere iſt z. B. horizontal, wenn die Reflexionsebene vertical ſteht.

det vollständig unter einem Winkel von ungefähr 35°, erscheint von Neuem bei noch schiefern Incidenzen und zwar mit um so größerer Intensität, je spitzer der Winkel ist, den die Strahlen mit der Trennungsfläche der beiden Linsen bilden. Kurz man sieht, daß die Theile von gefärbtem Lichte, welche zur Bildung der Ringe beitragen, analoge Aenderungen erleiden, wie weißes Licht, das unter entsprechenden Einfallswinkeln von irgend einer der Linsenoberflächen reflectirt worden wäre*), was sich übrigens auch naturgemäß erwarten ließ. Der eben berichtete Versuch fügt also in dieser Beziehung zu dem bereits Bekannten Nichts hinzu; er zeigt blos, daß der Winkel, unter welchen die Strahlen der Ringe bei der Reflexion, z. B. an der obern Fläche der zweiten Linse, falls sie allein vorhanden gewesen wäre, polarisirt werden würden, durch die Nähe der untern Fläche der ersten Linse nicht geändert wird; und dies verdiente um so mehr geprüft zu werden, da die vollständige Polarisation des Lichtes durch Reflexion an der Trennungsfläche zweier in Berührung befindlichen Mittel unter einem Winkel erfolgt, der sehr von demjenigen verschieden ist, bei welchem eben diese Modification eintritt, wenn die Strahlen auf irgend eines dieser beiden Mittel getrennt fallen.

Einige Male habe ich auch die beiden Linsen unter den Recipienten einer vortrefflichen Luftpumpe gebracht, jedoch ohne eine wahrnehmbare Aenderung weder in den Dimensionen der Ringe, noch in der Neigung, unter welcher das Licht polarisirt wird, zu bemerken.

Bei der Untersuchung der Ringe, welche sich zwischen einer Glaslinse und einem Metallspiegel bilden, nach dem zuvor angegebenen Verfahren ergab sich, daß sie unter dem Winkel von ungefähr 35° vollständig polarisirt sind, gerade so als ob sie zwischen zwei Glaslinsen erzeugt wären. Dies dürfte anfangs zu beweisen scheinen, daß bei diesem Phänomene das gefärbte Licht an der zweiten Fläche der

*) Diese Aehnlichkeit in den eintretenden Veränderungen ist indeß nicht so vollständig, daß man nicht einige Differenzen entdeckt, wenn man die relativen Intensitäten der beiden vom Kalkspathrhomboeder gelieferten Bilder sehr aufmerksam unter allen Einfallswinkeln untersucht.

obern Linse reflectirt wird, weil die von nicht oxydirten Metallen zurückgeworfenen Strahlen nur partiell polarisirt sind, und sich unter allen Neigungswinkeln in zwei an Intensität sehr wenig verschiedene Bilder zerlegen. Bevor man aber bei einer solchen Folgerung stehen bleiben konnte, war es nothwendig zu untersuchen, ob nicht das zwischen den zwei Gläsern eingeschlossene Blättchen infolge seiner außerordentlichen Dünne eine besondere Wirkung auf die hindurchgehenden Strahlen ausübte.

Analysirt man das Licht der Ringe, die man beim Durchblicken durch zwei aufeinander gelegte Linsen wahrnimmt, mittelst eines in passender Stellung gehaltenen Kalkspathrhomboeders, so findet man es unter denselben Umständen polarisirt, wie das Licht der reflectirten Ringe. In senkrechter Richtung gesehen zerlegen sich also die durchgelassenen Ringe in zwei gleich helle Bilder; das eine derselben wird in dem Maaße schwächer, als sich die Gesichtslinie gegen die Oberfläche der Linsen neigt, verschwindet völlig unter einem Winkel von 35°, und erscheint von Neuem mit stetig wachsender Intensität bei kleinern Einfallswinkeln wieder. Es ist ferner leicht, sich zu überzeugen, und dieser Umstand ist beachtenswerth, daß die durch das Blättchen hindurchgegangenen farbigen Strahlen dieselbe Art von Polarisation, wie die reflectirten, erfahren; d. h. daß man unter einem Winkel von 35° und für eine bestimmte Lage der Linsen und des Rhomboeders stets das Bild desselben Namens, das regelmäßige oder unregelmäßige erblickt, mag man die reflectirten oder die durchgelassenen Ringe betrachten.

Um mit Bequemlichkeit diesen Versuch auszuführen, stelle man z. B. die Linsen oberhalb eines Metallspiegels auf, jedoch in der Weise, daß das Licht der Atmosphäre auf den Spiegel fallen kann, ohne durch den übrigen Theil des Apparates zu gehen. Hält man dann mit einem Schirme das Licht auf, welches direct auf die erste Fläche der obern Glaslinse treffen würde, so wird man die durchgelassenen Ringe sehen, erzeugt durch die Strahlen, welche nach ihrer Zurückwerfung von dem Metalle die Linsen durchdringen und zum Auge gelangen; hält dagegen der Schirm das Licht auf, welches zuerst auf den Spiegel fallen würde, oder was denselben Zweck erreicht, bedeckt

man dieſen Spiegel mit ſchwarzem Papier, ſo wird man nur die reflectirten Ringe erblicken. Geſetzt, bei dieſer letztern Anordnung ſei das Auge und das Rhomboeder in der Weiſe aufgeſtellt, daß man nur das durch die regelmäßige Brechung entſtehende Bild erblickt: dann wird man, wenn ſonſt Alles in derſelben Lage bleibt, ebenfalls wieder das regelmäßige Bild ſehen, wenn man den Schirm vor die beiden Linſen geſtellt hat, und ſich nur die Ringe mittelſt des durch beide hindurchgegangenen Lichtes bilden können.

Sollte man befürchten, daß die partielle Polariſation, welche die Strahlen bei der Reflexion von dem Metallſpiegel erleiden, zu Irrungen Veranlaſſung geben könnte, ſo möge man zu folgendem Verfahren ſeine Zuflucht nehmen.

Man ſtelle die beiden Linſen vor einer ſtark erleuchteten weißen Fläche, z. B. vor einem Blatte Papier, in einer etwas ſchiefen Richtung auf; dann iſt leicht zu ſehen, daß man, welches auch die Lage des Auges ſein mag, abwechſelnd beliebig die durchgelaſſenen und die reflectirten Ringe betrachten kann. Die erſtern würden ſichtbar werden, wenn ein vor die Linſen und auf derſelben Seite, wo das Auge liegt, angebrachter Schirm die Strahlen aufhielte, die ſonſt reflectirt ſein würden; und umgekehrt würde man nur die reflectirten Ringe wahrnehmen, wenn der Schirm hinter die Linſen geſtellt würde, um das Licht abzuhalten, das anfangs durch den Apparat hindurchging*).

*) Wenn man, ohne an der obigen Anordnung etwas zu ändern, den Schirm ganz und gar fortläßt, ſo bilden ſich gleichzeitig die durchgelaſſenen und die reflectirten Ringe. Wenn die erleuchtete Fläche gleichförmig weiß oder glänzend iſt, ſo heben ſich die beiden Reihen vollſtändig auf, und auf den Linſen iſt keine Spur von Färbung ſichtbar; dieſe Farben erſcheinen aber von Neuem, ſobald die Lichtbündel, welche die beiden farbigen Syſteme bilden, nur etwas in der Intenſität von einander abweichen; weshalb man ſich dieſes Mittels in ſehr vielen Fällen zur Vergleichung der Intenſität des Lichtes zweier entfernter Objecte, z. B. zweier Punkte der Atmoſphäre bedienen kann. Ohne jedoch hier in dieſer Beziehung mich in weitere Details einzulaſſen, die beſſer anderswo ihren Platz finden werden, begnüge ich mich mit der Bemerkung, daß die vollſtändige Neutraliſation der beiden Syſteme von gefärbten Ringen nicht nur beweiſt, daß die Ringe von derſelben Ordnung complementäre Farben beſitzen, wie Newton angegeben hat, ſondern auch, daß ihre Durchmeſſer, die Breite ihrer farbigen Säume und ihre Intenſitäten vollſtändig dieſelben ſind, was

Der Verſuch würde wie im erſten Falle endigen, weil bei einer Incidenz von 35° ein Kalkſpathrhomboeder mit paſſend gerichtetem Hauptſchnitte ſtets, entweder das regelmäßige oder das unregelmäßige Bild des einen oder des andern Ringſyſtemes zeigen würde.

Aus allem dieſen geht hervor, daß in dem Phänomene der Ringe das weiße Licht in zwei unterſchiedene und gefärbte Theile zerlegt wird, die, verſchiedene Wege verfolgend, dennoch in gleicher Weiſe polariſirt ſind, während bei dem allgemeinen von Malus entdeckten Phänomene die durchgelaſſenen und die reflectirten Strahlen eines einfallenden Lichtbündels in entgegengeſetzter Weiſe polariſirt ſind*).

Indeß muß ich bemerken, daß allein die durchgelaſſenen Strahlen, auf welche ein dünnes Blättchen die eigenthümliche in Rede ſtehende Wirkung ausübt, diejenigen ſind, welche zur Bildung der Ringe bei-

---

ſich ſonſt nur mit Hülfe von Meſſungen, die ihrer Natur nach vielen Unſicherheiten unterworfen ſein dürften, würde nachweiſen laſſen.

*) Um von dieſer Anomalie Rechenſchaft geben zu können, nahm Malus an, daß das Verſchwinden eines der Bilder, wenn man die durchgelaſſenen Ringe betrachtet, von dem Glanze herrühre, welchen die Poraliſation durch Brechung dem Grunde, auf welchen es ſich projicirt, ertheilt; aber ohne von andern Bedenken, die man dieſer Erklärung entgegenſtellen könnte, zu reden, wird man ſich von der Unzulänglichkeit derſelben überzeugen, wenn man die Ringe mit einem Kalkſpathrhomboeder unterſucht, welches die beiden Bilder nicht völlig trennt. Denn es iſt klar, daß in dieſem Falle das völlige Verſchwinden des einen Syſtems das Verſchwinden des Theils vom zweiten Bilde nach ſich ziehen würde, der ſich auf dieſelbe Stelle projicirt, was jedoch durchaus nicht der Fall iſt. Ich habe übrigens dieſe Erklärung, die Malus ſelbſt aufgegeben hatte, hier nur erwähnt, weil ſie in der Abhandlung angeführt iſt, welche die ſchönen Verſuche dieſes berühmten Phyſikers über die Poliſation durch Brechung enthält.

Biot, der ſich vor Kurzem ebenfalls mit dieſem Phänomen beſchäftigt, hat geglaubt, daraus folgern zu können, daß die gewöhnliche polariſirende Kraft nur in den dünnen Blättchen exiſtire. Man ſieht in der That, daß, wenn die Kraft, welche durch Refraction polariſirt, erſt in dickeren Blättchen, als diejenigen ſind, auf denen man Ringe bemerkt, aufzutreten anfinge, die farbigen Streifen im durchgelaſſenen und reflectirten Lichte ſtets dieſelbe Art von Polariſation darbieten müßten; leider aber widerſpricht dieſer Hypotheſe die Erfahrung, denn ich habe mich überzeugt, daß ſehr dünne Blättchen einen Theil des durch ſie hindurchgehenden Lichtes durch Brechung gerade ebenſo gut polariſiren, als dicke Glasplatten.

tragen; so daß, wenn man durch ein Kalkspathrhomboeder irgend einen hinter einer solchen Platte gelegenen Gegenstand betrachtet, man unter allen Neigungen und in allen Stellungen des Krystalles zwei Bilder von sehr wenig verschiedenen Intensitäten bemerken wird*). Man untersuche z. B. unter einer der senkrechten sehr nahe kommenden Incidenz ein zwischen zwei Glaslinsen gebildetes Ringsystem; das Rhomboeder erzeugt dann, wie bekannt, zwei gleich lebhafte Bilder, selbst wenn sein Hauptschnitt auf der Reflexionsebene perpendicular oder mit ihr parallel ist. Wenn man nun, während Alles in demselben Zustande bleibt, zwei neue Linsen einschiebt, dergestalt, daß die Strahlen des ersten Ringsystemes unter einem Winkel von 35° durch das dünne zwischen ihnen eingeschlossene Blättchen gehen müssen, bevor sie auf das Kalkspathrhomboeder fallen, so geben die durchgelassenen Ringe, welche diesem zweiten Blättchen angehören, nur ein einziges Bild, während die ersten Ringe noch in zwei Bündel von gleicher Intensität zerlegt werden. Dieser Versuch lehrt, daß dieselbe Luftschicht, welche keine merkliche Wirkung auf die verschiedenfarbigen Strahlen ausübt, die aus dem ersten Ringsysteme austreten, doch vollständig und unter anscheinend ähnlichen Umständen alles weiße Licht polarisirt, das beim Durchgange durch dieselbe in farbige Streifen zerlegt wurde**).

---

*) Der geringe Unterschied in der Intensität wird übrigens, falls er existirt, in entgegengesetztem Sinne von demjenigen auftreten, den man wahrnimmt, wenn man direct entweder nach den reflectirten oder nach den durchgelassenen Ringen sieht.

**) Da nach Newton die verschiedenen Dicken eines und desselben Körpers die Eigenschaft besitzen, verschiedene Farben durchzulassen und zu reflectiren, so lag es nahe, daran zu denken, daß bei einer Untersuchung der Ringe, wie in dem vorhergehenden Experimente, durch ein zwischengesetztes Blättchen, auf welchem sich ebenfalls Ringe bilden, die ersteren möglicherweise sich in verschiedenen Punkten ihrer Umfänge unterbrochen und unvollständig zeigen könnten. Um diese Vermuthung zu prüfen, stellte ich einen ersten Apparat in solcher Entfernung auf, daß die Ringe deutlich erschienen; darauf schaltete ich ein zweites Linsenpaar näher nach dem Auge hin ein; mittelst einer langsamen Bewegung vor- und rückwärts führte ich dann die verschiedenen Theile eines jeden Ringes aus dem ersten Systeme durch alle Dicken der zweiten dünnen Luftschicht. Obwohl ich diesen Versuch ziemlich oft wiederholt habe,

Stellt man dieſen Verſuch mit Glasblättchen an, die vor der Lampe geblaſen ſind, ſo findet man, daß unter dem Winkel von 35° der Theil des durchgelaſſenen Lichtes, welcher das Blättchen ſichtbar macht, bereits polariſirt iſt, gerade als ob er in beträchtlich größern Dicken als diejenigen, wo die Blättchen anfangen gefärbt zu erſcheinen, reflectirt würde; übrigens wirken dieſe Blättchen, wie dünn ſie auch ſein mögen, auf jedes andere Licht, wie dicke Glasplatten.

Ich habe ſo eben bewieſen, daß die beiden Theile gefärbten Lichtes, der zurückgeworfene ſowohl als auch der durchgelaſſene, in welche ſich ein auf ein dünnes Blättchen fallendes weißes Lichtbündel theilt, in einer und derſelben Weiſe poraliſirt ſind, und zwar ſo, als ob ſie beide reflectirt worden wären. Es lag daher nahe zu glauben, daß ſich keine Ringe bilden würden, wenn man ein polariſirtes Lichtbündel

---

iſt es mir aber doch nicht möglich geweſen, irgend einen Einfluß dieſes zweiten Blättchens auf die Zahl oder den ſtetigen Zuſammenhang, oder endlich auf die relativen Intenſitäten der verſchiedenen Ringe des erſten Syſtems wahrzunehmen. Aus dieſer Erfahrung, die ſich auf verſchiedene Weiſe verificiren läßt, muß man meiner Meinung nach ſchließen, daß ein ſehr kleiner Theil des einfallenden Lichts durch das Blättchen zerlegt wird; denn ſonſt müßte man annehmen, daß der einfache Durchgang des Lichtes durch ein Blättchen nicht von Anwandlungen zur leichtern Zurückweiſung und zum leichtern Durchgange begleitet ſei, oder vielmehr, daß Strahlen, welche bereits ein erſtes Mal dieſe Modification erfahren haben, dann beſtändig der Einwirkung der Kräfte, von denen jene Anwandlungen abhängen, entgehen; eine Annahme, die ziemlich ſeltſam ſein würde.

Daß das Luftblättchen, durch welches man das erſte Ringſyſtem hindurchgehen läßt, keine Wirkung ausübt, halte ich um ſo mehr für richtig, als man bei Anwendung einer Loupe zu ſeiner Beobachtung die kleinſten Unregelmäßigkeiten in den Umfängen der Ringe wahrnehmen kann. Ein Umſtand bei dieſem Verſuche, auf den ſchon Euler ſeine Aufmerkſamkeit gerichtet hat, ſcheint mir einer Erwähnung nicht unwerth, daß nämlich die Loupe gerade in einer ſolchen Entfernung gehalten werden muß, in welcher man ſie aufſtellen würde, wenn man irgend eine der beiden Oberflächen, welche das dünne Blättchen einſchließen, deutlich ſehen wollte, obgleich man annehmen kann, daß, wenn der Verſuch unter freiem Himmel angeſtellt wird, das einfallende Licht aus mehreren parallelen Lichtbündeln zuſammengeſetzt iſt.

Beleuchtet man im Dunkeln die Linſengläſer mit dem Lichte einer entfernten Kerze, ſo erblickt man, wenn man die Ringe deutlich ſieht, das reflectirte Bild der Kerze verwaſchen, und umgekehrt ſind die Ringe kaum wahrnehmbar, wenn das Auge ſo geſtellt iſt, daß das Bild der Kerzenflamme deutlich erſcheint.

unter solchen Verhältnissen auf die Linsen fallen ließe, wo es nach Malus' Versuchen keine partielle Reflexion erleiden darf. Unter den Wegen, auf welchen man sich von der Richtigkeit dieser Vermuthung überzeugen kann, scheint mir der folgende den wenigst complicirten Apparat zu erfordern.

Man lege eine Glaslinse auf eine Linse oder überhaupt auf eine etwas dicke Platte von Doppelspath. Man bemerkt dann ein System von Ringen, die unter allen Neigungen dieselben Eigenschaften besitzen, wie diejenigen, welche den Berührungspunkt zweier gewöhnlichen Glaslinsen umgeben, weil das an der ersten Oberfläche der Krystalle zurückgeworfene Licht vollständig demjenigen gleicht, das auf jedem beliebigen andern Körper polarisirt wird. Kehrt man aber die Vorrichtung um, so erblickt man zwei Reihen von Ringen, die von den beiden Bündeln herrühren, in welche sich das Licht im Krystall spaltet. Untersucht man nun die beiden Ringsysteme unter der Incidenz von 35°, und läßt, während das Auge seinen Platz behält, die Linsen eine ganze Umdrehung um ihren Mittelpunkt machen, so wird man bei dieser Bewegung jedes System zwei Mal verschwinden sehen: in den beiden einander diametral entgegengesetzten Lagen der Kalkspathplatte, in welchen der Hauptschnitt auf der Reflexionsebene senkrecht steht, sieht man nur das Ringsystem, welches durch das unregelmäßig gebrochene Licht entsteht, während umgekehrt blos die Ringe, welche die regelmäßig gebrochenen Strahlen erzeugen, sichtbar werden, wenn, alle übrigen Verhältnisse als dieselben vorausgesetzt, der Hauptschnitt des Krystalles mit der Reflexionsebene parallel liegt. Dieses Verschwinden tritt übrigens nicht plötzlich ein; jedes Ringsystem ist um so schwächer, je mehr man sich der Lage und dem Einfallswinkel nähert, wo es ganz verschwindet, so daß, wenn der Hauptschnitt einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene macht, die beiden Ringsysteme, selbst bei einem Einfallswinkel von 35° eine gleiche Intensität besitzen.

Untersucht man unter passender Neigung die von derselben Vorrichtung durchgelassenen Ringe, so beobachtet man analoge Erscheinungen; es ist überdies leicht zu erkennen, daß in diesem Falle ebenso wie in dem vorhergehenden das allmäliche Verschwinden der beiden

Ringſyſteme erſtens davon abhängt, daß bei jeder Vierteldrehung der Kalkſpathplatte eines der Lichtbündel, welches ſie liefert, in die Lage kommt, wo es das Glas in ſeiner Geſammtheit durchdringt, und zweitens davon, daß, wenn ein Bündel keine partielle Reflexion erleidet, es ebenfalls der Wirkung der Kräfte entgeht, welche das gewöhnliche Licht in Ringe zerlegen, was bewieſen werden ſollte*).

Wenn wir, ohne etwas an der übrigen Anordnung des vorſtehenden Verſuches zu ändern, eine etwas dicke Bergkryſtallplatte mit parallelen Flächen an die Stelle der zuvor benutzten Kalkſpathplatte ſetzen, ſo werden wir finden, daß der regelmäßige und der unregelmäßige Strahl, welche faſt denſelben Weg verfolgen, nur ein einziges deutliches Ringſyſtem geben, zu deſſen Erzeugung beide Klaſſen von Strahlen zugleich beitragen. Wenn wir jetzt das Licht dieſer Ringe mit einem Kalkſpathprisma unterſuchen, ſo iſt, wenn nur ein Bild ſichtbar ſein ſoll, nicht blos nöthig, daß der Hauptſchnitt des Prismas ſenkrecht oder parallel zur Reflexionsebene liege und daß der Einfallswinkel paſſend gewählt ſei; es iſt außerdem noch erforderlich, daß der Hauptſchnitt der Bergkryſtallplatte ſenkrecht oder parallel zu der Ebene iſt, welche gleichzeitig den einfallenden und den zurückgeworfenen Strahl enthält. In jeder andern Lage dieſer Platte ſieht man zwei Bilder, und ihre Intenſitäten ſind um ſo weniger ungleich, je weniger der Winkel zwiſchen dem Hauptſchnitte und der Einfallsebene von 45° abweicht. Es iſt klar, daß, wenn man in den zuvor genannten Lagen nur ein Bild der Ringe ſieht, der eine der beiden Lichtbündel durch den Apparat hindurchgeht, ohne zerlegt zu werden. Uebrigens beobachtet man dieſelben Phänomene, wenn man die Kalkſpath- oder Bergkryſtallplatte auf einen Metallſpiegel legt: das Bündel, welches im frühern

*) Wer im Beſitz des Apparates iſt, deſſen ſich Malus bediente, um zu beweiſen, daß das Licht unter gewiſſen Umſtänden keine partielle Reflexion erleidet, kann die obigen Schlußfolgerungen leicht prüfen; denn es reicht dazu aus, zwei Gläſer, welche Ringe erzeugen, an die Stelle des einzigen Spiegels zu ſetzen, den Malus um den polariſirten Strahl ſich drehen ließ. Derſelbe Apparat eignet ſich auch, um zu erkennen, daß die Ringe, welche ſich durch Reflexion zwiſchen einem Glas- und einem Metallſpiegel bilden, unter denſelben Umſtänden verſchwinden wie die Ringe, welche den Berührungspunkt zweier Glaslinſen umgeben.

Falle durch das untere Glas hindurchgehen würde, wird dann zum Theil von dem Metalle reflectirt, aber in keiner Weise zerlegt. Man sieht also in diesem Versuche ein Bündel weißen Lichtes eine sehr dünne Luftschicht durchdringen, an ihrer unteren Grenzfläche, und folglich unter dem Einflusse der ersten Oberfläche zurückgeworfen werden; ein zweites Mal durch dieselbe Platte rückwärts hindurch gehen, und doch nicht in farbige Ringe zerlegt werden.

Wir wollen uns jetzt mit den Erscheinungen beschäftigen, welche bei Incidenzen beobachtet werden, die kleiner oder größer sind, als der Winkel der vollständigen Polarisation, und zunächst annehmen, daß die Ringe sich in einer zwischen zwei Glasplatten eingeschlossenen Luftschicht bilden und mittelst eines doppeltbrechenden Krystalles analysirt werden. Unter einem Winkel von 90° gegen die Oberfläche gerechnet zeigen die Strahlen der Ringe dieselben Eigenschaften, wie das gewöhnliche Licht; bei 35° sind sie vollständig polarisirt; noch schiefer scheinen aber diese Strahlen einen so zu sagen negativen Zustand angenommen zu haben, d. h. eine Polarisation, welche diametral derjenigen entgegengesetzt ist, die ihnen die Reflexion unter 35° ertheilt hatte, was zu einem sehr großen Theile von dem Einflusse herrührt, den die erste Glasfläche auf die gewöhnlichen Strahlen, welche durch sie hindurchgehen, ausübt. Uebrigens sind mir von der senkrechten Incidenz an bis zu den schiefsten Neigungen die beiden durch das Kalkspathrhomboeder erzeugten Bilder als einander vollkommen ähnlich vorgekommen, sowohl in Bezug auf die Farben der verschiedenen Ringe als auch in Bezug auf ihre Durchmesser. Ich erwähne hier diese Aehnlichkeit in der Gestalt nur, weil wir Fälle antreffen werden, wo dieselbe nicht statt hat.

Nehmen wir nämlich an, daß die erste Glaslinse, anstatt wie soeben auf einer ähnlichen Linse, auf einem Metallspiegel liege und daß man die Ringe von verschiedenen Farben, welche den Berührungspunkt umgeben, mit einem Kalkspathrhomboeder untersuche. Von der senkrechten Incidenz bis zu einem Einfallswinkel von 35° gegen die Oberfläche sieht man zwei Bilder, welche bis auf die Intensität einander vollkommen gleichen. Das eine verschwindet gänzlich unter dem Winkel von 35°, wenn der Hauptschnitt des Krystalles senkrecht oder

parallel zur Reflexionsebene ist, und entsteht von Neuem bei kleineren Neigungen, aber mit dem eigenthümlichen Umstande, daß die Farbe eines jeden der Ringe, die es bilden, complementär ist zu der Farbe der entsprechenden Ringe in dem Bilde, welches nicht verschwunden ist. Sind der Metallspiegel und die Linse einander sehr nahe, so erscheint das gemeinschaftliche Centrum der Ringe, mit bloßen Augen gesehen, schwärzlich; hält man aber den Doppelspath vor dieselben, so theilt sich dieser Flecken zwischen den beiden Bildern in der Weise, daß, wenn dasjenige, welches durch die regelmäßige Brechung entsteht, z. B. in seiner Mitte einen schwarzen von einem weißen Ringe umgebenen Flecken zeigt, das andere unregelmäßige Bild dann umgekehrt an den analogen Stellen einen weißen Flecken besitzt, auf welchen ein schwarzer Ring folgt.

Wenn bei einem viel geringeren Grade von Annäherung zwischen der Linse und dem Spiegel der centrale Flecken der Ringe, mit bloßen Augen gesehen, roth erscheint, so wird er durch den Doppelspath in zwei Flecken zerlegt, deren einer roth und der andere grün ist, und so fort für alle Theile der Streifen, welches auch sonst ihre ursprünglichen Farben sein mögen. Man sieht hieraus, daß bei senkrechtem Einfall die Strahlen, welche zwischen einer Glaslinse und einem Metallspiegel die Ringe bilden, alle Eigenschaften des directen Lichtes haben, weil sie stets zwei gleich intensive Bilder erzeugen; daß sie unter dem Winkel von 35° aber polarisirt sind, wie wenn die untere Ebene von Glas wäre; daß sie endlich unter kleinern Einfallswinkeln eine eigenthümliche Modification erleiden, die sie gleichzeitig von dem polarisirten und dem gewöhnlichen Lichte unterscheidet, weil sie sich beim Durchgange durch ein Kalkspathrhomboeder in zwei einander nicht gleiche Bilder zerlegen. Uebrigens ist an sich klar, daß bei jeder Vierteldrehung des Krystalls die Strahlen des regelmäßigen Bündels in das unregelmäßige und ebenso umgekehrt übergehen, so daß die Bilder vollständig ihre Farben verwechseln.

Da die beiden unähnlichen Bilder, welche in dem vorhergehenden Versuche das Kalkspathrhomboeder erzeugte, aus Ringen bestehen, deren Farben zu einander complementär sind, so lag es nahe zu untersuchen, ob nicht die Ringe von gleicher Ordnung in den beiden Systemen gleiche Durchmesser besäßen. Von der Bemerkung ausgehend,

die ich soeben über die Vertauschung des Lichtes zwischen den beiden Bildern während der Drehung des Kalkspathrhomboeders gemacht habe, kann man leicht beweisen, daß eine solche Gleichheit nicht existirt*); denn da der Uebergang der Strahlen des einen Bündels in das andere, während der Umdrehung des Krystalles nur allmälich stattfindet, so ist klar, daß ein Augenblick kommen würde, wo das eine der Bilder durch die Lichtmenge neutralisirt werden müßte, welche aus dem complementären Bilde stammte, wie auch anfänglich das Verhältniß ihrer Intensitäten beschaffen gewesen sein möchte; während man sie doch in der That stets alle beide wahrnimmt. Wenn das eine der beiden Systeme z. B. den Ringen ähnlich wäre, welche man im reflectirten Lichte um den Berührungspunkt zweier passend gegen einander gedrückten Glaslinsen erblickt, so würde man das andere fast mit den durch dasselbe System hin-

*) Mit bloßen Augen ohne Hülfe eines Krystalles ist mit etwas Aufmerksamkeit leicht zu erkennen, daß über einen gewissen Winkel hinaus, der nicht viel von 35° abweichen darf, die Ringe, welche sich zwischen der Glaslinse und dem Metallspiegel bilden, aus zwei getrennten Reihen von verschiedenen Durchmessern bestehen. Um von einem bestimmten Falle auszugehen, wollen wir annehmen, daß Linse und Spiegel stark gegeneinander gepreßt seien, so daß unter senkrechter Incidenz die gemeinsame Mitte der Ringe schwarz erscheint; in dem Maaße nun, als der Winkel der Gesichtslinie gegen die Oberfläche gerechnet, abnimmt, wächst der Durchmesser des schwarzen centralen Fleckens allmälich um eine kleine Größe, gerade ebenso wie der Durchmesser der ihn umgebenden Ringe; sobald man aber bei dem Einfallswinkel für die vollständige Polarisation anlangt, vergrößern sich die Dimensionen des Fleckens plötzlich; auch fügen sich plötzlich neue Ringe zu den bis dahin sichtbar gewesenen hinzu, und greifen mehr oder weniger über ihn hinweg. Bei dieser unvollständigen Deckung ihrer Umfänge ist es im Allgemeinen ziemlich schwierig, die Aufeinanderfolge der Farben zu erkennen; während man dagegen sehr leicht wahrnehmen kann, daß der Ring, der eben zu dem centralen Flecken hinzugetreten ist, dunkler als jener erscheint. Ist eine gewisse Grenze überschritten, so wird sogar der ganze Flecken im Mittelpunkte, wenn nicht völlig weiß, doch wenigstens sehr merklich erhellt erscheinen, so daß in diesem Falle die Stelle, wo die dünne Platte das wenigste Licht zu reflectiren scheint, bei Weitem nicht der Ort ihrer geringsten Dicke ist. Das Kalkspathrhomboeder trennt großentheils diese beiden verschiedenen Ringsysteme, weil sie sehr ungleich polarisirt sind; es liefert deßhalb ein Mittel, sie gesondert zu beobachten, und zu erkennen, daß die Streifen, woraus sie bestehen, von einander sowohl in der Farbe, als auch im Durchmesser abweichen.

durchgelaſſenen Ringen vergleichen können. Indeß würde in dieſem letztern Falle die Aehnlichkeit nur unter der Vorausſetzung vollſtändig ſein, daß die beiden Linſen in einem Grade der Annäherung ſich befänden, der etwas von demjenigen verſchieden wäre, welcher zuvor zur Erzeugung des reflectirten Bildes Veranlaſſung gegeben hatte.

Bei jenen Verſuchen hatte ich vollkommen polirte Spiegel aus Stahl und aus der dichten glänzenden Legirung, welche die Optiker zu Teleſkopenſpiegeln verwenden, benutzt. Nun iſt aber bekanntlich der Polariſationswinkel auf Metallen viel ſpitzer, als auf den übrigen Körpern, und doch bleibt der Winkel, unter welchem man eines der Bilder der Ringe verſchwinden ſieht, wenn ein Metallſpiegel zu ihrer Bildung beiträgt, genau derſelbe, als wenn ſie zwiſchen zwei Glaslinſen entſtanden wären. Dieſe Thatſache könnte, der Anſicht Newton's und der Phyſiker, welche ſich nach ihm mit demſelben Gegenſtande beſchäftigt haben, entgegen, zu beweiſen ſcheinen, daß die Zerlegung der Strahlen an der erſten Oberfläche der dünnen Platte erfolgt, weil ſie allein den Polariſationswinkel zu beſtimmen ſcheint; indeß würde dieſe Annahme, ſo unwahrſcheinlich ſie auch ſchon iſt, doch noch nicht zur Erklärung der Erſcheinungen hinreichen.

Ich habe mich nämlich überzeugt, daß ein geringer Grad von Mattheit in der Oberfläche des unteren Metallſpiegels für die Entſtehung der Ringe kein Hinderniß iſt; aber man kann dann nach Belieben, und ohne die Neigung der Geſichtslinie zu ändern, zwei unterſchiedene Ringſyſteme wahrnehmen. Das erſte wird durch das regelmäßig reflectirte Licht gebildet, und gleicht demjenigen, das man bei einem vollkommen polirten Spiegel beobachtet; das andere iſt ſchwächer und wird nur ſichtbar, wenn man mit einem Schirme das in der Reflexionsebene befindliche Licht aufhält; denn die Strahlen, welche es bilden, gelangen ſeitlich auf den untern Spiegel, von wo ſie durch kleine Facetten, womit er, wie man annimmt, bedeckt iſt, zum Auge hin reflectirt werden. Dieſe beiden Bilder haben übrigens ſtets complementäre Farben, was hinreicht, um zu beweiſen, daß ſie nicht auf dieſelbe Weiſe entſtehen. Dieſe beiden neuen Ringſyſteme ſind nun, wie die frühern, unter einem Winkel von 35° polariſirt, gerade eben ſo, als wenn jede der beiden Flächen des dünnen Blättchens mit einer Glas-

platte in Berührung stände. Wollte man also in aller Strenge annehmen, daß die ersten Ringe sich an der obern Fläche der Platte bilden, so würde zu erklären bleiben, warum die andern, welche von dem Metallspiegel auszugehen scheinen, unter demselben Winkel polarisirt sind, was nach dem Emmissionssysteme nicht leicht zu sein scheint. Bei kleinern Neigungen übrigens, als der der vollständigen Polarisation, zerlegt das Kalkspathrhomboeder auch diese neuen Streifen in zwei unähnliche und fast complementäre Bilder; ich sage fast complementär, weil man, obschon dem bloßen Auge die Ringe derselben Ordnung in den beiden Bildern einander zu entsprechen scheinen, doch durch die Methode, deren ich mich kurz zuvor bedient habe, leicht sehen kann, daß ihre Durchmesser nicht völlig gleich sind; denn fände dies letztere statt, so würde während einer vollständigen Drehung des Kalkspathes jedes Bild zwei Mal verschwinden.

Man kann die beiden Reihen von Ringen, von denen so eben die Rede gewesen ist, erzeugen, ohne zu einem mattgeschliffenen Metalle seine Zuflucht zu nehmen; es genügt dazu, daß der untere Spiegel eine eigenthümliche Farbe besitzt. Das Silber unserer Münze z. B. erfüllt diesen Zweck vollständig: auch bei geringer Politur zeigt es nämlich nach allen Richtungen eine sehr merkliche grauliche Färbung; dieses secundäre Licht erzeugt, indem es sich in der zwischen einem solchen Spiegel und der Glaslinse eingeschlossenen Luftplatte zerlegt, Ringe, die gleich gut sichtbar bleiben, in welcher Weise auch das Auge in Bezug auf den einfallenden Strahl gestellt sein möge, deren Farben complementär zu denjenigen sind, welche man in den durch das regelmäßig reflectirte Licht gebildeten Ringen bemerkt, die ferner genau unter demselben Winkel polarisirt sind, und die endlich bei sehr kleinen Neigungswinkeln sich durch einen passend gestellten Kalkspath in zwei unähnliche Bilder zerlegen. Bis auf diesen letztern Umstand würden die viel glänzenderen Ringe, welche unter denselben Verhältnissen durch das eigene Licht eines Porcellanspiegels entständen, dieselben Erscheinungen darbieten.

Es war noch übrig, zu untersuchen, ob die Metallspiegel allein die Fähigkeit besitzen, den Strahlen der Ringe die Eigenthümlichkeit zu ertheilen, sich unter gewissen Neigungen in zwei unähnliche Bilder zu

zerlegen, sowie zu bestimmen, welches diejenige von ihren Eigenschaften ist, von denen jene merkwürdige Modification abhängen kann. In dieser Absicht habe ich zunächst an die Stelle des untern Spiegels in dem vorhergehenden Apparate diejenigen der in der Natur vorkommenden Substanzen gesetzt, welche durch ihre Undurchsichtigkeit den Metallen am nächsten stehen zu müssen scheinen, d. h. ich habe Ringe gebildet, indem ich eine Glaslinse auf polirte Platten von Steinkohle, Anthracit, Gagat u. s. w. legte. In allen diesen Fällen waren unter allen Neigungen die beiden vom Kalkspathrhomboeder gelieferten Bilder bis auf die Intensität einander in Farbe und Größe vollkommen ähnlich oder wenigstens nur sehr wenig von einander unterschieden. Da die Undurchsichtigkeit des untern Spiegels nicht die unmittelbare Ursache des Phänomens war, so lag der Gedanke nahe, daß seine große brechende Kraft in irgend einer Weise dabei betheiligt sein könnte. Um diese Vermuthung durch das Experiment zu prüfen, vereinigte ich mehrere polirte Stücke von natürlichem Schwefel, Demant u. s. w., aber die auf diesen Körpern gebildeten Ringe haben die Umkehrung in den Farben nicht gezeigt, wenigstens nicht in merklicher Weise, wie groß auch die Neigung sein mochte. Diese Versuche können, wie zugestanden werden muß, nicht als entscheidend betrachtet werden, mit Rücksicht darauf, daß die Brechung der Metalle viel größer sein muß, als die des Schwefels und Demants. Auf den Metalloxyden selbst erkennt man kaum einige Spuren von Unähnlichkeit zwischen den beiden Bildern der Ringe, welche das Rhomboeder gibt, selbst wenn der einfallende Strahl die obere Fläche der Linse streift.

Wenn die Gegenwart eines Metallspiegels nothwendig ist, damit das in Rede stehende Phänomen eintreten kann, wenn die Ringe sich in einer dünnen Luftschicht bilden, so ist dies nicht mehr der Fall, wenn der dünne Körper eine viel größere Dichtigkeit besitzt und mit einer seiner Flächen einem andern hinreichend brechenden Mittel unmittelbar anliegt. So bietet die Steinkohle oft auf ihren Durchgängen sehr lebhafte Farben dar, welche durch eine äußerst dünne Substanz erzeugt werden und sich in zwei complementäre Bilder zerlegen lassen, wenn man sie mit einem Rhomboeder unter hinreichend schiefen Winkeln be-

trachtet.*) Die Farben, welche künſtlich durch das Fortſchreiten der Verdampfung auf dünnen Schichten von Alkohol oder Saſſafrasöl, die auf Kohle oder irgend eine andere ähnliche Subſtanz gebracht worden ſind, gebildet werden, zerfallen ebenfalls in zwei unähnliche Bilder von entgegengeſetzten Farben.

Die vorſtehenden Verſuche, die Beſtimmungen, die ich für den Polariſationswinkel der Ringe unter den mannigfachen Umſtänden, wo ſie ſich bilden, erhalten hatte, ſei es, daß eine Luftſchicht zwiſchen zwei Mitteln von derſelben brechenden Kraft oder zwiſchen zwei ſehr verſchiedenen Mitteln eingeſchloſſen iſt, oder daß die dünne Schicht eine intermediäre Dichtigkeit beſitzt zwiſchen der Dichtigkeit des Körpers, auf welchem ſie ruht, und desjenigen, der an ihrer andern Fläche anliegt u. ſ. w., hatten mir eine Vergleichung der Theorie der Anwandlungen in der Emiſſions- und in der Wellentheorie möglich gemacht.

Es war mir auf dieſe Weiſe gelungen, wenn nicht einen Beweis für die Unzulänglichkeit der erſtern Theorie zu liefern, doch wenigſtens zu zeigen, daß dieſelbe mit den Erſcheinungen ſich nur vereinbaren läßt, wenn man fortwährend neue Eigenſchaften zu denen hinzufügt, die Newton aus ſeinen Experimenten hergeleitet hatte. Dieſer Theil meiner Abhandlung war in der Druckerei während der langen Verzögerung, welche durch Angelegenheiten der Buchhandlung in dem Erſcheinen des dritten Bandes der Mémoires de la Société d'Arcueil veranlaßt worden war, verbrannt; ich habe nicht hinreichende Muße gehabt, um ihn zu ergänzen; und überdies ſchienen mir die ſchönen Verſuche des Dr. Thomas Young und die Beobachtung, welche Fresnel über die krummlinige Bewegung der Diffractionsſtreifen gemacht hat,

---

*) Wendet man dieſelben Methoden auf die Unterſuchung der Farben an, die auf den Flächen einiger Kryſtalle von Eiſenglanz, Kupferkies, auf Bleiglanzſtufen, u. ſ. w. entſtehen, ſo bemerkt man eine Farbenänderung ohne vollſtändige Polariſation.

die Frage zu entscheiden. Ich schließe deshalb hier mit der Beschreibung einer sonderbaren Erscheinung, welche die Ringe unter einigen Umständen darbieten, und deren Erklärung meines Erachtens nach aus der Vereinigung der in dieser Abhandlung enthaltenen Versuche hervorgeht.

Die Mechaniker haben ziemlich allgemein die Gewohnheit, die polirten Messingstücke ihrer Instrumente mit einem Schellackfirnisse zu überziehen. Wenn diese Schicht sehr dünn ist, so zeigt sie Regenbogenfarben; die gefärbten Strahlen, welche sie bilden, sind unter einem gewissen Winkel polarisirt, und geben zwei unähnliche Bilder, wenn man sie mit einem Kalkspathrhomboeder unter einer hinreichend schiefen Neigung analysirt, ganz wie es in den analogen Fällen geschah, die wir bereits erörtert haben. Form und Vertheilung der Farben sind mannigfaltig, wie die Ursachen, welche sie erzeugen. Ich besitze einen Fernrohrdeckel, auf welchen ziemlich ausgedehnte Stellen in gleichmäßiger Färbung erscheinen, und der hierdurch zu den beabsichtigten Beobachtungen sehr gut geeignet war. Der Kürze wegen will ich nur die beim Untergehen der Sonne angestellten erwähnen; der Versuch gelingt nur bei heiterm Himmel.

Ich sehe nach dem Deckel mit bloßen Augen unter einem sehr spitzen Winkel und in der Richtung der untergehenden Sonne: seine Farbe ist ein schmutziges Grün, das ins Blaue zieht.

Während alle andern Umstände dieselben bleiben, wende ich mich nach Süden oder genauer ausgedrückt nach einem Punkte des Horizontes, der um 90° von der Sonne entfernt ist: die Farbe des Deckels verwandelt sich aus Blau, wie sie vorher war, in sehr lebhaftes Purpur.

Ich mache noch eine Vierteldrehung in demselben Sinne; der Deckel reflectirt dann nach dem Auge Strahlen, welche von dem der Sonne diametral entgegengesetzten Theile der Atmosphäre kommen: seine Farbe ist wieder grünlich blau.

90° von dieser Richtung, gegen Norden, bemerkt man zum zweiten Male ein lebhaftes Purpur, obgleich die Incidenz nicht geändert worden ist.

In den Zwischenlagen zwischen den vorhergenannten sind die Farben der Platte Gemenge von Roth und Grün, in denen diese beiden Strahlengattungen successive vorherrschen.

Dieser Versuch ist bei einem sehr spitzen Einfallswinkel gemacht worden; wenn die Gesichtslinie dem senkrechten sehr nahe war, so behielt der Deckel dieselbe Purpurfarbe in allen Richtungen; nur bemerkte man eine geringe Abnahme der Intensität in den Azimuten Nord und Süd.

Unter einem Einfallswinkel endlich, der zwischen den beiden vorhergehenden lag, und von 35° nicht sehr abwich, erschien der Deckel in der Richtung der untergehenden Sonne und in der diametral entgegengesetzten grünlich gelb, während man in Nord und Süd keine Farbe erblickte.

Fassen wir die Erscheinungen also nochmals kurz zusammen, so änderten sich die Farben, welche der Schellack auf dem Deckel erzeugte, in einer sehr nahe senkrechten Richtung gesehen, mit dem Azimute nicht; unter dem Winkel von 35° waren sie in dem Azimute der Sonne und in entgegengesetzter Richtung sehr sichtbar, während man im Norden und Süden keine Spur davon bemerkte; in noch schieferen Richtungen änderten die Farben fortwährend ihre Beschaffenheit, je nachdem dieser oder jener Punkt des Himmels Strahlen auf den Deckel sandte, aber mit der bemerkenswerthen Eigenthümlichkeit, daß die Nuancen in Ost und West stets complementär zu denen in Nord und Süd waren.

In Bezug auf die Erklärung dieser Erscheinungen erinnere ich 1) daran, daß die in der Einfallsebene regelmäßig reflectirten Strahlen und diejenigen, welche zu unserem Auge gelangen, nachdem sie seitlich auf die Rauhigkeiten des Spiegels aufgefallen sind, complementäre Farben liefern, und 2) daß das Licht, welches die Atmosphäre uns sendet, mehr oder weniger vollständig polarisirt ist, je nachdem der Winkel, unter welchen es auf die Luftmolecüle fällt, näher an 45° liegt; was sich auch so ausdrücken läßt: die Schnitte der vollständigsten Polarisation machen mit der durch die Sonne gehenden Verticalebene einen rechten Winkel.

Wenn wir nun den Deckel in der Richtung der untergehenden Sonne oder in der gerade entgegengeſetzten unter einem ziemlich ſpitzen Winkel prüfen, ſo erzeugen die in der Reflexionsebene enthaltenen Strahlen die lebhafteſten Farben, 1) weil ſie ſehr reichlich ſind, und 2) weil diejenigen, welche ſeitlich ankommen und auf den kleinen Facetten der metalliſchen Oberfläche reflectirt werden, in von Oſt nach Weſt gerichteten Ebenen polariſirt ſind, und folglich, wenigſtens zum größten Theile, unter Verhältniſſen ſich befinden, wo ſie ſich durch die dünnen Blättchen nicht zerlegen laſſen.

Eben dieſe polariſirten Strahlen werden aber keine Farben mehr geben, wenn ſie in der Einfallsebene regelmäßig reflectirt werden, d. h. wenn man ſich gegen Nord und Süd wendet; dann muß aber das Licht, welches ſeitlich von Oſt und Weſt kommt, durch die Rauhigkeiten des meſſingenen Spiegels nach dem Auge hin reflectirt werden und beim Durchgange durch die Schellackſchicht complementäre Farben von denen geben, welche aus der Zerlegung der in der Reflexionsebene gelegenen Strahlen hervorgegangen ſein würden. Kurz, man ſieht, daß die Strahlen, welche den Deckel farbig erſcheinen laſſen, mag man ihn in der Richtung von Weſt oder von Süd unterſuchen, ſtets von Weſten kommen.

Die Strahlen, welche in einer auf der Reflexionsebene ſenkrechten Ebene liegen, entgehen, obwohl ſie vollſtändg polariſirt ſind, in ihrer Geſammtheit der Art von Zerlegung, welche die farbigen Ringe erzeugt, nur in dem einzigen Falle, wo ſie das dünne Blättchen unter paſſender Neigung treffen, woraus folgt, daß das Licht aus Nord und Süd Farben erzeugen wird, und daß dieſelben um ſo lebhafter ſein werden, je mehr der Einfallswinkel, unter dem man die Beobachtung ausführt, von demjenigen ſich entfernt, welcher ihrem vollſtändigen Verſchwinden entſpricht. Dieſe Farben werden unter gewiſſen Umſtänden durch das ſeitliche Licht gänzlich neutraliſirt werden können, was mit den Erſcheinungen übereinſtimmt.

Ich habe der größern Einfachheit wegen bis jetzt angenommen, daß das atmoſphäriſche Licht vollſtändig palariſirt iſt, wenn es durch Luftmolecüle zurückgeworfen wird, die von der Sonne um 90° ent-

fernt sind; dies ist aber nicht völlig genau. Ferner habe ich nur auf Strahlen Rücksicht genommen, welche in der Reflexionsebene und in der auf ihr senkrechten Ebene liegen, während offenbar ist, daß die in den intermediären Ebenen enthaltenen Strahlen durch das dünne Blättchen ebenfalls zerlegt werden müssen; man kann aber leicht sehen, daß, wenn auch diese neuen Strahlen auf die Lebhaftigkeit der Farben einen Einfluß haben sollten, sie doch wenigstens deren Beschaffenheit nicht ändern können, so daß es überflüssig gewesen sein würde, die zuvor gegebene Erklärung damit zu überladen.

Abhandlung über die farbige Polariſation;

geleſen am 11. Auguſt 1811

in der mathematiſch-phyſiſchen Klaſſe des kaiſerlichen Inſtituts von Frankreich. *)

Ich hatte die Ehre, im letzten Februar der Klaſſe eine Abhandlung **) mitzutheilen über eine eigenthümliche Modification, welche die Lichtſtrahlen erleiden, wenn ſie auf zwei auf einander liegende Linſen fallend jene farbigen Ringe um den Berührungspunkt bilden, mit denen Newton ſich ſehr umſtändlich im zweiten Buche ſeiner

---

*) Dieſe Abhandlung (vgl. die Notiz über die Polariſation im 7. Bde.) iſt geleſen worden in der erſten Klaſſe des Inſtituts in der Sitzung des 11. Aug. 1811; ſie erſchien im Jahre 1812 in dem Bande der Memoiren dieſer Klaſſe für 1811 unter dem Titel: Abhandlung über eine merkwürdige Modification, welche die Lichtſtrahlen bei ihrem Durchgange durch gewiſſe Körper erleiden und über einige andere optiſche Phänomene. In der Zwiſchenzeit habe ich die geringe Muße, welche mir meine Functionen als Aſtronom am Obſervatorium übrig laſſen, benutzt, um einige optiſche Erſcheinungen zu unterſuchen, die mehr oder weniger eng mit den bereits beſchriebenen zuſammenhängen, und klar zeigen, von welchen Umſtänden in der inneren Structur der Kryſtalle die merkwürdigen Eigenſchaften abhängen, welche die Strahlen beim Durchgange durch dieſelben erhalten. Ich hatte mir vorgenommen, alle dieſe Arbeiten in eine einzige Abhandlung zu vereinigen, welche alſo der Aufmerkſamkeit der Phyſiker weniger unwerth geweſen ſein würde; da aber mehrere Perſonen ſich mit denſelben Unterſuchungen beſchäftigt haben, ſo befinde ich mich in der Nothwendigkeit, meine erſte Arbeit getrennt zu veröffentlichen, indem ich mir vorbehalte, bei einer andern Gelegenheit Entwickelungen zu geben, die zur Vervollſtändigung der Theorie derartiger Erſcheinungen beſtimmt ſind.

**) S. 3 dieſes Bandes.

Optik beſchäftigt hat. Als ich bereits zu jener Zeit die Richtigkeit der Schlußfolgerungen, die ich aus meinen erſten Verſuchen gezogen hatte, zu beſtätigen ſuchte, bemerkte ich bei der Betrachtung der farbigen Ringe und Wellenlinien, welche manche Platten des ruſſiſchen Glimmers zeigen, gewiſſe eigenthümliche Erſcheinungen, von denen ich damals nicht ſprach, weil ſie dem Gegenſtande, den ich im Auge hatte, fremd waren, und ihre Erklärung mir ſehr ſchwierig ſchien. Da indeß eine aufmerkſame Prüfung, die ich ſeitdem vorgenommen, gezeigt hat, daß ſie von einer beſondern Modification abhängen, welche die Lichtſtrahlen erleiden, ſo habe ich geglaubt, ſie zum Gegenſtande einer Abhandlung machen zu dürfen, die heute der Klaſſe zu überreichen ich mir die Ehre gebe. Die Reihenfolge, in der ich die Verſuche mittheilen werde, weicht ſehr wenig von derjenigen ab, in welcher ſie angeſtellt worden ſind.

Als ich bei heiterm Himmel ein hinreichend dünnes Glimmerblättchen mit einem Doppelſpathprisma unterſuchte, ſah ich, daß die zwei Bilder, welche ſich auf den Himmel projicirten, nicht dieſelben Farben zeigten: das eine derſelben war gelbgrünlich, das zweite purpurroth, während der Theil, wo beide Bilder ſich deckten, von der natürlichen Farbe des mit bloßen Augen geſehenen Glimmers erſchien. Ich fand gleichzeitig, daß eine kleine Aenderung in der Neigung des Blättchens gegen die durchgehenden Strahlen die Farbe der beiden Bilder ändert, und daß, wenn man bei ungeänderter Neigung des Blättchens und Stellung des Prismas ſich darauf beſchränkt, das Glimmerblättchen in ſeiner eigenen Ebene um ſich ſelbſt zu drehen, vier auf einander rechtwinklige Lagen exiſtiren, in welchen die beiden durchs Prisma erzeugten Bilder von derſelben Helligkeit und von vollkommener Weiße ſind. Läßt man das Glimmerblatt unverändert ſtehen und dreht das Prisma, ſo ſieht man ebenfalls jedes Bild nach einander verſchiedene Farben annehmen und nach jeder Vierteldrehung durch Weiß hindurchgehen. In allen dieſen Lagen des Prismas und des Glimmers, zeigte übrigens das zweite Bild ſtets, welches auch die Farbe des erſten ſein mochte, die complementäre*) Farbe deſſelben, ſo

*) Complementäre Farben nenne ich mit einigen Phyſikern diejenigen, welche vereinigt, weißes oder farbloſes Licht geben.

daß an denjenigen Stellen, wo die beiden Bilder durch die Doppelbrechung des Krystalles nicht getrennt waren, die Mischung dieser beiden Farben Weiß erzeugte. Ich muß indeß bemerken, daß diese letztere Bedingung nur streng erfüllt sein kann, wenn das Glimmerblättchen überall dieselbe Dicke besitzt, weil nur dann jedes Bild in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Farbe zeigt, während sonst beide Bilder selbst in benachbarten Punkten sehr verschiedene und um so mehr unregelmäßig vertheilte Farben darbieten, je merklichere Ungleichheiten in der Dicke des angewandten Glimmers sich finden. Wie dem aber auch sein möge, die einander entsprechenden Theile der Bilder besitzen stets complementäre Farben.

Um bei diesen ersten Versuchen jede Idee an einen Einfluß, den die Dispersion des Lichtes in den prismatischen Bildern auf die Erscheinung der Farben haben könnte, zu beseitigen, wandte ich bei dieser Untersuchung theils ein Kalkspathrhomboeder, theils auch ein durch ein gewöhnliches Glasprisma achromatisirtes Kalkspathprisma an; die Resultate blieben stets dieselben.

Der Versuch, den ich eben berichtet habe, scheint beim ersten Blick einige Aehnlichkeit mit dem vierundzwanzigsten Experimente des zweiten Buches der Newton'schen Optik zu haben, wo dieser berühmte Physiker erzählt, daß, als er zwei gewöhnliche Glaslinsen auf einander gelegt hatte, mit bloßen Augen nur fünf bis sechs Ringe sichtbar waren, während es ihm mit Hülfe eines Prismas oft gelang, deren mehr als vierzig zu zählen. Man erkennt leicht den Grund dieses Phänomens, wenn man mit Newton beachtet, daß die gefärbten Ringe bereits in der zwischen beiden Gläsern eingeschlossenen Luftschicht vorhanden, aber viel zu dicht gedrängt waren, als daß man sie mit bloßen Augen hätte unterscheiden können: die einzige Wirkung des Prismas bestand also darin, die Umfänge der verschiedenen Ringe von einander zu trennen, indem es die verschiedenfarbigen Strahlen ungleich brach. In dem zuvor von mir beschriebenen Versuche kann aber offenbar keine derartige Einwirkung eintreten; denn wenn die Farben in dem Glimmer wegen ihrer Mischung mit bloßen Augen nicht sichtbar waren, so würde man sie beim Betrachten des Blättchens mittelst eines Kalkspathrhomboeders mit parallelen Flächen oder mit einem

achromatisirtem Prisma nicht besser wahrnehmen können, weil unter beiden Umständen die verschiedenfarbigen Strahlen gleich stark gebrochen, und folglich die Farben in den beiden Bildern gerade eben so gemischt sein würden, als in der mit freiem Auge gesehenen Platte. Man sieht ferner, um mich blos auf diese beiden Umstände zu beschränken, daß man durch dieses Mittel weder von den sehr verschiedenen Farben der beiden Bilder, welche das Rhomboeder hervorbringt, noch von dem gänzlichen Fehlen der Farben für gewisse Lagen des Glimmerblättchens würde Rechenschaft geben können.

In den obigen Versuchen gingen durch das Glimmerblättchen nur die Strahlen hindurch, welche uns die Atmosphäre unmittelbar zurückwirft, weil, wie ich vorhin erwähnt habe, seine beiden Bilder sich auf den Himmel projicirten. Seine Farben schienen mir in ihrer Intensität zu variiren, sowohl mit der Tageszeit als auch mit der Lage des Theiles der Atmosphäre, von welchem Licht auf das Blättchen fiel, in Bezug zur Sonne. Ich hatte gleichfalls bemerkt, daß bei völlig bedecktem Himmel beide Bilder nicht die geringsten Farben zeigten; aber bei diesem Zustande gleichen, wie ich vorher beobachtet hatte, die von der Atmosphäre uns zugesandten Strahlen völlig dem directen Lichte, während diese Strahlen bei heiterm Himmel in jeder Richtung, der Stellung der Sonne entsprechend, mehr oder weniger stark polarisirt sind. Diese Beziehung mußte mich natürlich dahin führen, den Einfluß einer vorhergehenden Polarisation der Strahlen auf die Farben, welche sie erzeugen, wenn sie nach dem Durchgange durch ein Glimmerblättchen auf einen mit Doppelbrechung begabten Krystall fallen, zu untersuchen. Als ich nun das von einem nicht belegten Planglase reflectirte Licht auf ein solches Blättchen fallen ließ, konnte ich leicht bemerken, daß die Farben, welche durch den Doppelspath sichtbar wurden, um so lebhafter hervortreten, je mehr der Winkel, unter welchem das Licht zurückgeworfen wird, sich ungefähr 35° nähert, was mir zu beweisen scheint, daß allein die polarisirten Strahlen die hier besprochenen Farben erzeugen. Der nachfolgende Versuch wird übrigens in dieser Beziehung alle Zweifel beseitigen.

Wenn man irgend ein Object, z. B. die Flamme einer Kerze durch die entgegengesetzten Seiten eines Kalkspathrhomboeders betrach-

tet, so sind die beiden Bilder, die man wahrnimmt, weiß und von gleicher Intensität, mögen die Strahlen unmittelbar auf den Krystall fallen, oder mögen sie zuvor bereits ein Glimmerblättchen durchdrungen haben.

Wenn man aber nach der zuvor von einem nicht belegten Glasspiegel reflectirten Flamme sieht, so existirt zwischen den beiden Bildern für gewisse Lagen des Rhomboeders*) ein um so beträchtlicherer Unterschied in der Intensität, je mehr der Reflexionswinkel sich ungefähr 35° nähert, weil an dieser Grenze, wie bekannt ist, eines der Bilder vollständig verschwindet. Nehmen wir jetzt an, daß wir bei dieser Grenze angekommen sind, und schalten ein Glimmerblättchen ein, so daß die vom Spiegel reflectirten Strahlen dasselbe durchdringen, bevor sie auf das Rhomboeder fallen. Das Bild, welches vor dem Einschalten des Blättchens verschwunden war, erscheint wieder, aber mit einer Farbe, die in Betreff ihrer Beschaffenheit und Intensität von der Dicke des eingeschalteten Blättchens und dem mehr oder weniger großen Winkel, unter welchem die Strahlen dasselbe durchdringen, abhängt. Welches übrigens auch diese Neigung sein möge, stets sind die beiden Bilder complementär gefärbt; so daß, wenn man durch Aenderung der Lage des Blättchens das erste Bild successive und zu wiederholten Malen die ganze Reihe der prismatischen Farben durchlaufen läßt, das zweite stets entsprechende Aenderungen erleidet, und zwar dergestalt, daß in jedem Augenblicke die beiden gleichzeitig erscheinenden Farben durch ihre Vereinigung Weiß geben. Nach dem weiter oben Mitgetheilten ist es fast überflüssig zu erwähnen, daß es vier bezüglich auf einander senkrechte Lagen des Blättchens gibt, in welchen es keinen Einfluß auf die polarisirten Strahlen, die es durchdringen, ausübt, und daß man durch Umdrehung des Rhomboeders bei unveränderter Stellung des Blättchens die beiden complementären Bilder nach jeder Vierteldrehung des Krystalles durch Weiß hindurchgehen sieht, wenigstens bei senkrechter Incidenz.

*) Diese Lagen sind diejenigen, in welchen der Hauptschnitt des Krystalles senkrecht oder parallel zu der Ebene ist, welche gleichzeitig den einfallenden und zurückgeworfenen Strahl enthält.

Aus den vorstehenden Versuchen folgt, wie man sieht, daß die Blättchen des gewöhnlich unter dem Namen des moskowitischen Talks bekannten Glimmers, in einer gewissen Weise gestellt, die Lichtstrahlen depolarisiren, welche eine Reflexion unter passendem Winkel bereits modificirt hatte. Man sieht ferner, daß diese Blättchen auf die verschiedenen Strahlen verschieden zu wirken scheinen, und daß sie infolge dessen den Lichtstrahlen Eigenschaften ertheilen, die sie gleichzeitig von dem directen Lichte und von den polarisirten Strahlen unterscheiden. Wenn die Eigenschaften dieser letzteren Strahlen, wie man annimmt, von der besondern Anordnung der Aren der Molecüle, aus welchen sie gebildet werden, abhängt, so wird zwischen einem Strahle, welcher durch Reflexion oder durch Doppelbrechung in einem geeigneten Krystalle polarisirt ist, und demselben Strahle bei seinem Austritte aus einem Glimmerblättchen der Unterschied bestehen, daß in dem erstern die Aren der Molecüle der verschiedenen Farben parallel sind, während in dem zweiten Molecüle von verschiedenen Farben existiren, deren Aren verschiedene Richtungen besitzen.

Malus hat nicht nur zuerst entdeckt, daß die Lichtstrahlen bei ihrer Reflexion auf durchsichtigen Körpern eine Modification erleiden, welche identisch mit derjenigen ist, die ihnen die mit Doppelbrechung begabten Krystalle ertheilen, sondern auch, daß die auf die eine oder andere Weise polarisirten Strahlen einige Eigenschaften besitzen, welche sie wesentlich von dem directen Lichte unterscheiden. Gesetzt z. B., ein Bündel gewöhnlichen Lichtes falle auf einen nicht belegten Glasspiegel, so wird stets eine gewisse Anzahl Strahlen von der ersten und von der zweiten Fläche dieses Glases zurückgeworfen; wenn aber das einfallende Bündel zuvor polarisirt worden ist, findet man zwei Lagen des Glasspiegels, in welchen nicht ein einziges Lichtmolecül zurückgeworfen wird; dieser Fall tritt ein, wenn der Einfallswinkel ungefähr 35° beträgt. Man begreift übrigens, daß diese Lagen mit der Lage der Ebene oder des Krystalles, wodurch das Bündel polarisirt worden ist, zusammenhängen. Es wird jetzt nicht schwierig sein, einen sehr einfachen Versuch anzugeben, mittels dessen man sich eine genaue Vorstellung von der eigenthümlichen Modification wird machen können,

welche die polarisirten Lichtstrahlen beim Durchgange durch den Glimmer erleiden.

Man lege z. B. irgend eine Glimmerplatte horizontal und lasse dann auf ihre Oberfläche vertical von oben nach unten von einem Glasspiegel unter einer Neigung von etwa 35° reflectirte Strahlen fallen. Betrachtet man dann den oberen Spiegel durch die Platte, so wird man ihn völlig farblos sehen, woraus folgt, daß der Glimmer die Strahlen von allen Farben durchläßt. Wir stellen jetzt nun unterhalb der Platte einen zweiten ebenfalls nicht belegten Glasspiegel auf, der mit der Verticalen einen der Neigung des ersten Spiegels gegen diese Linie gleichen Winkel, aber in entgegengesetztem Sinne macht; so wird vermöge dieser Anordnung der zweite Spiegel nur durch das farblose Lichtbündel erleuchtet, welches der erste vertical zurückwirft, und es scheint naturgemäß, zu glauben, daß er seinerseits auch nur farblose Strahlen zurückwerfen wird. Bringt man indeß das Auge in passende Stellung, so wird man nicht blos wahrnehmen, daß das Bild des ersten Spiegels im zweiten gesehen sehr stark gefärbt erscheint, sondern auch, daß, wenn man diesen letzten Spiegel, ohne seinen Winkel gegen die Verticale zu ändern, dreht, der Lichtstrahl, welchen er zurückwirft, durch verschiedene Farben geht, obgleich die Einfalls- und Reflexionswinkel stets dieselben geblieben sind. Eben so leicht wird man bemerken, daß dieser zweite Spiegel, von irgend einer Lage an gerechnet, nach einer Viertelumdrehung stets die complementäre Farbe von derjenigen zurückwirft, die er in der ersten Lage reflectirte.

Die Säule aus Glasplatten, welche Malus mit so großem Erfolge bei der Untersuchung mehrerer Polarisationserscheinungen des Lichtes angewandt hat, kann gleichfalls zur Beobachtung der Farben in dem Glimmer dienen. Man weiß in der That, daß unter übrigens gleichen Umständen die Menge von polarisirten Strahlen, welche dieser Apparat durchläßt, mit der Lage der ursprünglichen Polarisationsebenen variirt; wir haben aber bereits gesehen, daß die Molecüle von verschiedenen Farben, woraus ein weißer Lichtstrahl besteht, der durch eine Glimmerplatte hindurchgegangen ist, ihre Axen auf verschiedene Weise gerichtet haben; hiernach war leicht vorauszusehen, daß, wenn eine solche Platte durch die Glassäule gesehen, roth erscheint, es hin-

reichen muß, die Vorrichtung um sich selbst zu drehen, ohne den Einfallswinkel der Lichtstrahlen auf ihre Flächen zu ändern, um sie verschiedene andere Farben durchlaufen zu sehen.

Ich habe oben gesagt, daß die Art der Farbe, welche ein Glimmerblättchen in einer bestimmten Stellung und bei einer gegebenen Incidenz depolarisirt, von der Dicke des Blättchens abhängt. In der That habe ich auf einem und demselben Glimmerblatte, das von einem Ende nach dem andern hin allmälich dünner wurde, eine ziemlich ausgedehnte Stelle bezeichnen können, welche blaue Strahlen depolarisirte; der angrenzende Theil färbte das zweite durchs Prisma erzeugte Bild gelb; weiterhin in derselben Richtung zeigte sich dieses Bild von Neuem mit blauer Farbe, während die Platte an einer vierten Stelle zum zweiten Male gelbe Strahlen depolarisirte. Es folgt, wie man sieht, hieraus, daß wenn man die Lage eines Rhomboeders gefunden hat, in welcher man nur ein einziges Bild irgend eines von einem Glasspiegel reflectirten Gegenstandes wahrnimmt, und dann eine Glimmerplatte von veränderlicher Dicke einschaltet, ein zweites Bild wieder erscheinen wird, dessen Farbe unter übrigens gleichen Umständen von dem Theile der Platte abhängt, welchen die Strahlen durchlaufen haben, bevor sie auf den Doppelspath fallen. Benutzt man die Leichtigkeit, mit welcher Glimmerplatten sich spalten lassen, so kann man künstlich dieselbe Erscheinung mittelst einer regelmäßigen Platte von constanter Dicke hervorbringen. Zu diesem Zwecke habe ich vor einen nicht belegten, gut polirten Glasspiegel die Flamme einer Kerze gestellt, deren Strahlen mit der Spiegeloberfläche einen Winkel von etwa 35° machten, und dann ein achromatisirtes Doppelspathprisma in der Weise angeordnet, daß die reflectirten Strahlen nicht mehr doppelt gebrochen wurden und sämmtlich in das regelmäßige Bild übergingen. Die Einschaltung einer Glimmerplatte zwischen Prisma und Spiegel ließ sogleich das unregelmäßige Bild wieder entstehen, aber mit einer sehr lebhaft grünlichblauen Farbe, während das regelmäßige Bild rein gelb erschien. Ich befestigte die Platte dergestalt, daß sie ihre Lage in Bezug auf den Spiegel nicht ändern konnte, und trennte mittelst eines scharfen Instrumentes ein dünnes Blättchen davon los. Die so verdünnte Glimmerplatte zeigte ein rein gelbes

unregelmäßiges und ein blaues regelmäßiges Bild. Durch Hinwegnahme eines zweiten Blättchens ging das letzte Bild von Neuem in lebhaftes Gelb über, während das andere sich blau färbte. Begnügt man sich, die verschiedenen Blättchen nur an einem ihrer Enden abzulösen, anstatt sie völlig loszutrennen, so kann man successive die Farben untersuchen, welche die große Platte depolarisirt, sowohl wenn man sie dünner macht, als auch wenn man sie wieder zusammensetzt. Man hat übrigens um so viel mannigfaltigere Wirkungen zu erwarten, je ungleicher die Dicken der abgelösten Blättchen sind.

Wenn sich die Dicke einer Glimmerplatte sehr schnell und regelmäßig ändert, so depolarisirt sie eine bestimmte Farbe in sehr nahe an einander liegenden und fast gleichweit von einander abstehenden Stellen; und es ist mir in der That gelungen, eine ziemlich große Platte zu erhalten, deren gegenüberliegende Flächen einen merklichen Winkel mit einander bilden, so daß ihre Dicke um so größer ist, je weiter eine betrachtete Stelle von der Kante, wo jene beiden Flächen zusammenstoßen, entfernt ist. Unter Anwendung des bereits mehrfach erwähnten Beobachtungsverfahrens sieht man jedes Bild von complementär gefärbten, schmalen, gut begrenzten, unter einander und mit der Durchschnittskante der beiden gegenüberliegenden Flächen parallelen Linien eingefaßt. Die Farben dieser leuchtenden Linien sind um so lebhafter, je vollständiger das einfallende Licht polarisirt gewesen ist; daher bemerkt man auch bei völlig bedecktem Himmel kaum einige schwache Spuren.

Betrachtet man die gewöhnlichen farbigen Ringe unter immer schiefern und schiefern Einfallswinkeln, so sieht man sie bekanntlich stets gegen den dickeren Theil der Luftschicht hinwandern, auf welcher sie sich bilden; dagegen verschieben sich die Streifen, die ich so eben beschrieben habe, in gewissen Lagen der Platten nach dem dünnern Theile hin und ziehen sich in dem Maaße zusammen, als man die Platte in Bezug auf die durch sie hindurchgehenden Strahlen mehr und mehr neigt. Die erstern Ringe entstehen im directen Lichte, die neuen Streifen erfordern polarisirtes Licht und verschwinden, wenn das Prisma fest steht, vier Mal während einer ganzen Umdrehung der Platte, oder nach jeder Vierteldrehung des Prismas, wenn man die Glimmerplatte in einer constanten Lage läßt.

Um das Gesetz zu bestimmen, nach welchem die Farben der beiden durchs Prisma erzeugten Bilder durch bloße Aenderung in der Neigung variiren, habe ich eine Glimmerplatte benutzt, die wegen ihrer großen Gleichförmigkeit in ihrer ganzen Ausdehnung dieselbe Art von Strahlen depolarisirte. Ich stellte sie zuerst senkrecht gegen die reflectirten polarisirten Strahlen und drehte sie dann um sich selbst und um eine auf der Reflexionsebene senkrechte Linie, so daß während dieser ganzen Bewegung die Platte senkrecht gegen letztere Ebene blieb. Das durchs Prisma infolge der Depolarisation des Lichtes erzeugte Bild, welches roth in der ersten Lage der Platte war, ging successive über in Violett, in Dunkelbläulichgrün, in Grünlichgelb, in Gelb und Orange; dann wurde es roth, und die in demselben Sinne weiter fortgesetzte Drehung der Glimmerplatte ließ es von Neuem in Violett, Grün, Grünlichgelb, reines Gelb und Roth übergehen. Da die Platte jetzt sehr stark gegen die einfallenden Strahlen geneigt war, so führte ich sie in die ursprüngliche Lage wieder zurück, und ertheilte ihr dann eine Bewegung in einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung; wie zuvor sah ich das rothe depolarisirte Bild durch bloße Neigungsänderung der Platte successive alle prismatischen Farben annehmen, von Neuem durch Roth gehen und ein zweites Mal dieselbe Farbenreihe durchlaufen. Es ist fast unnütz zu sagen, daß während aller dieser Bewegungen das erste Bild stets die complementären Farben vom zweiten durchlief und daß, wenn sie im Allgemeinen weniger lebhaft waren, der Grund darin lag, daß dies Bild eine gewisse Anzahl weißer Strahlen enthielt, welche nicht partiell depolarisirt worden waren.

Aus dem Vorhergehenden folgt, wie man sieht, daß es möglich ist, mit Hülfe eines bloßen dünnen Glimmerblättchens und eines doppelbrechenden Krystalles von dem weißen Lichte successive die verschieden gefärbten Strahlen abzusondern, aus denen es besteht. Dieses Verfahren gibt allerdings nicht vollkommen reine Farben, aber es hat vor allen denen, bei welchen man Prismen anwendet, den großen Vorzug, daß die Bilder nicht verzerrt werden.

Da es mir bei mehreren Versuchen schien, als ob unter übrigens gleichen Umständen die Fähigkeit der Glimmerblättchen, die verschieden

gefärbten Strahlen verschieden zu depolarisiren, schwächer würde, wenn ihre Dicke sich verringerte, so war es natürlich, daß ich untersuchte, ob sie dieselbe nicht gänzlich verlören, wenn ihre Dicke bis unter eine gewisse Grenze abnähme. Als ich nun einen polarisirten Strahl, der nach seiner Polarisirung durch ein äußerst dünnes Glimmerblättchen in fast senkrechter Richtung gegen dasselbe gegangen war, mittelst eines doppeltbrechenden Krystalles betrachtete, fand ich, daß das Blättchen nicht nur die Eigenschaft, verschieden farbige Lichtstrahlen in verschiedener Weise zu depolarisiren, verloren hatte, sondern auch, daß das zweite durch den Krystall erzeugte Bild stets äußerst schwach war, wie auch die Lage des Blättchens in seiner eigenen Ebene sein mochte; was bewies, daß es auf die weißen Strahlen fast nicht gewirkt hatte. Um das Merkwürdige, was diese Beobachtung enthält, zu erkennen, genügt es, sich zu erinnern, daß, wenn man an die Stelle des eingeschalteten dünnen Glimmerblättchens irgend einen Körper bringt, der mit einer Doppelbrechung, wenn auch in einem zu schwachen Grade, um die beiden Bündel merklich zu trennen, begabt ist, sich stets vier Lagen dieses Körpers finden lassen, in welchem die beiden durch den doppeltbrechenden Krystall erzeugten Bilder von gleicher Intensität sind. Uebrigens scheinen diese sehr dünnen Glimmerblättchen die Eigenschaft, das Licht zu depolarisiren, nur verloren zu haben, wenn ihre Ebene auf derjenigen, in welcher die durch sie hindurchgehenden Strahlen polarisirt worden sind, perpendiculär ist. In den andern Lagen zeigen die Blättchen eigenthümliche Phänomene, deren Details mich von dem Ziele, das ich mir in dieser Abhandlung gesteckt habe, abführen würden. *)

Bis jetzt habe ich nur von den im durchgelassenen Lichte wahrgenommenen Farben gesprochen; die von den Blättchen reflectirten Strahlen scheinen aber in analoger Weise modificirt zu sein, jedoch mit dem Unterschiede, daß man Farben bemerkt, ohne daß es unum-

*) Wenn, wie man glauben muß, der Glimmer eine Doppelbrechung besitzt, so beweist der in diesem Absatze mitgetheilte Versuch, daß sehr dünne Glimmerblättchen oder die Elemente, aus denen eine dicke Platte besteht, diese Eigenschaft nicht besitzen. Dies Resultat war zu wichtig, als daß ich nicht hätte versuchen sollen, es außer allem Zweifel zu setzen, was mir auch durch verschiedene Mittel gelungen ist.

gänglich nothwendig wäre, daß das einfallende Licht schon zuvor polarisirt ist, besonders wenn sich in den Blättchen irgend eine recht merkliche Lostrennung findet. Es liegt aber nicht in meinem Plane, hier umständlich diese letzte Art von Erscheinungen zu beschreiben; ich erwähne auch den folgenden Versuch nur, weil er mir zu beweisen scheint, daß man nicht bloß, wie man bisher gethan, in den Aenderungen der Dicke der Blättchen den Grund für die Farben zu suchen hat, welche sie beim bloßen Ansehen darbieten.

Zuerst überzeugte ich mich, daß Gypsblättchen in Bezug auf die polarisirten Strahlen dieselben Eigenschaften besitzen, wie der Glimmer, und wählte dann vorzugsweise ein Stück jener ersten Substanz, weil sie durch Reflexion sehr lebhafte Farben gibt. Ich legte eine Gypsplatte auf einen schwarzen Körper, und fand, indem ich sie in ihrer eigenen Ebene drehte, während das Auge unverändert seinen Platz behielt, bald die Lage, in welcher sie vollkommen weiß (farblos) erschien. Von diesem Punkte ausgehend, war es mir nicht schwer zu bemerken, daß ein Theil der Platte, auf den ich mein Auge richtete, successive durch alle in der folgenden Tabelle verzeichneten Farben ging, obgleich einfallende und zurückgeworfene Strahlen stets denselben Winkel mit ihrer Oberfläche bildeten.

In der ersten Lage ist die Platte	weiß	
= = zweiten = = = =	roth	
= = dritten = = = =	grün	
= = vierten = = = =	weiß	Die Platte hat eine Vierteldrehung gemacht.
= = fünften = = = =	grün	
= = sechsten = = = =	roth	
= = siebenten = = =	weiß	Die Platte hat eine halbe Umdrehung gemacht.
= = achten = = = =	roth	
= = neunten = = = =	grün	
= = zehnten = = = =	weiß	Die Platte hat drei Vierteldrehungen gemacht.
= = elften = = = =	grün	
= = zwölften = = =	roth	
= = dreizehnten = = =	weiß	Die Platte ist in die ursprüngliche Lage zurückgekehrt.

Betrachtet man die Platte während ihrer Umdrehung im durchgelaſſenen Lichte, ſo überzeugt man ſich, daß in jeder Lage die Farben, welche ſie zeigt, zu den reflectirten Farben complementär ſind und nach jeder Viertelbrehung verſchwinden. Uebrigens ſind die Farben, die man auf dem Gyps in nicht polariſirtem Lichte bemerkt, nur gut wahrnehmbar an denjenigen Stellen, wo zwei Blätter ſich zu trennen beginnen, und unter ziemlich ſchiefen Einfallswinkeln.

Bevor ich zur Beſchreibung der Erſcheinungen übergehe, welche der Bergkryſtall darbietet, wird es nicht überflüſſig ſein, noch des Nutzens zu gedenken, welchen das Prismenfernrohr*) bei den meiſten der von mir beſchriebenen Experimente gewähren kann.

Wenn die optiſche Are des Fernrohrs einen Winkel von ungefähr 35° mit der Oberfläche eines nicht belegten Spiegels macht, ſo wird man während einer vollſtändigen Umdrehung deſſelben jedes Bild zwei Mal verſchwinden ſehen. Geſetzt das Fernrohr befinde ſich in einer jener Lagen, wo man nur ein einziges Bild ſieht, und es werde eine Glimmerplatte eingeſchaltet: ſofort erblickt man zwei Bilder, deren complementäre Farben von der Neigung der eingeſchalteten Platte und von ihrer Dicke abhängen. Läßt man nun das Fernrohr unbewegt, dreht dagegen die Glimmerplatte vor dem Objective des Fernrohres ein Mal ganz herum, ſo wird ein und daſſelbe Bild vier Mal verſchwinden, nachdem es nach einander verſchiedene Intenſitäten durchlaufen hat. Dieſe Thatſachen weichen von den weiter oben berichteten nicht ab; die Anwendung des Prismenfernrohrs gewährt aber den Vortheil, daß die Farben ſehr lebhaft, und beide Bilder gut begränzt ſind; was beweiſt, daß die innern Blättchen, welche die Farben erzeugen, das Licht nicht unregelmäßig zerſtreuen, wie man ſonſt wohl hätte vermuthen können. Man kann ferner aus dieſem Beobachtungsverfahren

*) So heißt ein von Rochon in ſeinen Abhandlungen ſchon vor langer Zeit beſchriebenes Fernrohr, das mit großem Erfolge zur Beobachtung der Planetendurchmeſſer angewandt werden kann. Dies Inſtrument beſteht ganz einfach aus einem gewöhnlichen Fernrohre, in deſſen Innern ein Prisma aus Bergkryſtall oder Doppelſpath angebracht iſt. Dieſes Prisma iſt achromatiſch und längs der Are verſchiebbar, was ein Mittel gewährt, die beiden Bilder der Objecte, nach denen man hinſieht, mehr oder weniger vollſtändig von einander zu trennen.

noch schließen, daß die polarisirten Strahlen beim Durchgange durch Glimmer oder Gyps eine dauernde Modification erleiden, weil sie erst nach dem Durchgange durch die verschieden gekrümmten Gläser, aus denen das Objectiv gebildet ist, auf das im Innern des Rohrs angebrachte Prisma fallen.

Wir wollen jetzt den bisher gebrauchten Glasspiegel durch einen Metallspiegel ersetzen. In welcher Richtung man auch das Fernrohr drehen möge, man wird kein Bild verschwinden sehen, weil nach Malus' Versuchen die unter diesen Umständen reflectirten Strahlen aus in entgegengesetztem Sinne polarisirten Strahlen, und wahrscheinlich auch aus einem Theile nicht modificirten Lichtes bestehen. Für einen Augenblick wollen wir annehmen, daß der reflectirte Strahl gleiche Mengen in entgegengesetztem Sinne polarisirter Molecüle enthalte; dann werden beide Bilder dieselbe Intensität besitzen und die Einschaltung des Glimmerblättchens kann keine Wirkung äußern. Indeß, obgleich man anfangs kaum zu erkennen vermag, ob die beiden Bilder in der That ungleich sind, so sieht man doch beide augenblicklich, sobald das Glimmerblatt vor das Objectiv kommt, sehr merkliche Farben annehmen, die in derselben Ordnung vertheilt sind, als wenn man bei gleicher Stellung des Fernrohres nach dem von einem Glasspiegel reflectirten Bilde blickte. Dies beweist erstens, daß die beiden Bündel ursprünglich nicht gleiche Intensität besaßen, und zweitens, daß die Absorption insbesondere auf die Art von Molecülen eingewirkt haben muß, welche die durchsichtigen Körper durchlassen. Nehmen wir nämlich an, daß die beiden in entgegengesetztem Sinne polarisirten Bündel gleich lebhaft sind, und abstrahiren von dem weißen nicht modificirtem Lichte, welches der reflectirte Strahl enthält, weil dies nicht zerlegt wird: so werden, wenn man das Glimmerblättchen vor das Prismenfernrohr bringt, z. B. die grünen Strahlen des regelmäßigen Bildes durch das Blättchen depolarisirt werden und in das durch die Brechung entstehende unregelmäßige Bild übergehen; da aber auch in demselben Augenblicke eine gleiche Anzahl grüner Molecüle aus dem zweiten Bündel in das erste übergehen muß, so werden weder in der Intensität noch in der Farbe Aenderungen eintreten. Dagegen sieht man, daß das regelmäßige Bild, wenn es intensiver wäre als das andere, letz-

terem infolge der Einwirkung des Blättchens eine größere Anzahl grüner Strahlen liefern würde, als es von ihm empfinge; die beiden Bündel würden also complementäre Farben zeigen; wie dies in der That den Resultaten entspricht, die ich mit allen bei diesen Versuchen benutzten Metallspiegeln erhalten habe.

In allen bis jetzt erwähnten Versuchen wurde die Depolarisation der Lichtstrahlen durch mehr oder weniger dünne Körper bewirkt; indeß kommt ihnen diese Eigenschaft nicht ausschließlich zu. Ich habe in der That eine Bergkrystallplatte von mehr als sechs Millimeter Dicke gefunden, welche unter dieselben Umstände versetzt, wie die Glimmer- oder Gypsblättchen, sehr merkwürdige und den bereits beschriebenen analoge Erscheinungen darbot.

Zuerst habe ich mich versichert, daß dieses Krystallstück das directe Licht nicht modificirt, indem ich dasselbe sowohl mit einem Kalkspathrhomboeder, als auch mit einer Säule aus Glasplatten untersuchte; im ersten Falle nämlich sind die beiden Bilder des Krystalles weiß und von gleicher Intensität, und im zweiten bemerkt man nicht die geringste Spur von Farben. Sobald aber Lichtstrahlen durch den Krystall gehen, die zuvor bereits reflectirt sind, so läßt jedes der beiden bezeichneten Verfahren mehr oder minder breite, und mehr oder weniger regelmäßige farbige Wellenlinien wahrnehmen, deren Bewegungen von denen abhängen, welche man dem Krystalle ertheilt.

Obgleich die von mir angewandte Platte, mit bloßen Augen betrachtet, sehr rein erscheint, so entdeckt man doch mittelst des Kalkspathrhomboeders Stellen, wo die Lagen, aus denen sie besteht, sehr unregelmäßig angeordnet sind. Dieser Umstand konnte zu der Vermuthung führen, daß die Farben selbst zum Theil durch eine unregelmäßige Zerstreuung des Lichtes im Innern des Krystalles hervorgebracht würden; ich ließ daher die Platte in der Weise schleifen und poliren, daß ihre zwei gegenüberliegenden Flächen eben und fast parallel waren. In diesem Zustande brachte ich sie vor das Objectiv eines Prismenfernrohrs; als ich damit die Sonne, den Mond oder irdische Objecte betrachtete, so fand ich, daß die Einschaltung der Platte in keiner Weise die Schärfe der beiden Bilder störte, und daß beide von gleicher Intensität waren; woraus hervorgeht, daß erstens der Krystall die directen Strahlen nicht

modificirt, und daß zweitens die Ungleichheiten in ſeinem innern Gefüge keine Diffuſion veranlaßten.

Um mit dieſer Bergkryſtallplatte die meiſten der zuvor mit Glimmer- und Gypsblättchen gemachten Verſuche zu wiederholen, ſtellte ich einen nicht belegten, gut polirten Glasſpiegel ſo auf, daß die Sonnenſtrahlen mit ſeiner Oberfläche einen Winkel von nahe 35° bildeten, richtete dann ein Prismenfernrohr auf das reflectirte Bild dieſes Geſtirns und fand durch Drehung bald die Lage, wo das Fernrohr die Fähigkeit, die Gegenſtände zu verdoppeln, verloren zu haben ſcheint. Als ich unmittelbar darauf die Bergkryſtallplatte vor das Objectiv brachte, ſah ich das zweite Bild wieder erſcheinen, aber mit einer ſehr tiefrothen Farbe, während das erſte, das zuvor weiß geweſen war, ſich mit der Complementärfarbe des Roth zeigte; übrigens waren die Ränder der beiden Sonnenbilder ganz eben ſo ſcharf, als wenn man ſie direct beobachtete.

Bis jetzt unterſcheidet ſich dieſer Verſuch von denjenigen, die ich mit Glimmer- und Gypsblättchen angeſtellt habe, nur darin, daß ich eine Platte von einer anderen Subſtanz und in viel größerer Dicke anwandte. Man muß ſich aber erinnern, daß beim Umdrehen des Glimmerblättchens vor dem Objective des Prismenfernrohres das zweite Bild nach jeder Vierteldrehung verſchwand. Eine analoge Bewegung, die ich dem Bergkryſtalle ertheilte, hat dagegen keine Aenderung hervorgebracht, weder in der Farbe, noch in der Intenſität der beiden Bilder.*) Nachdem ich mich von dieſer Thatſache überzeugt hatte, befeſtigte ich die Kryſtallplatte vor dem Objective des Fernrohrs, und konnte dann bei der Drehung des ganzen Apparates leicht erkennen, daß während einer halben Umdrehung beide Bilder die ganze Reihe der prismatiſchen Farben durchlaufen. Das rothe Sonnenbild wurde alſo ſucceſſive orange, gelb, grünlichgelb, bläulichgrün und violett; das Fernrohr hatte dann eine halbe Umdrehung vollendet. Als ich die Drehung in demſelben Sinne fortſetzte, ging das violette Bild in Roth, Orange u. ſ. w. über. Unter denſelben Umſtänden

*) Dies liegt daran, daß die Platte, die ich benutzte, ſenkrecht gegen die Kanten des ſechsſeitigen Prismas geſchnitten war.

wurde das zweite Sonnenbild, das anfänglich grünlichgelb, complementär zu dem Roth des ersten, gefärbt war, successive grün, violett, roth, orange und endlich gelb; und da diese Farbe die leuchtendste ist, so mußte sie dem Violett, womit das andere Bild in demselben Augenblicke gefärbt war, entsprechen. Das Gelb ging dann, während das Fernrohr die zweite halbe Umdrehung zurücklegte, von Neuem in Grünlichgelb, und darauf in die ganze Reihe der prismatischen Farben über.

Der bloße Anblick der beiden Sonnenbilder zeigte mit Entschiedenheit, daß ihre Farben stets complementär zu einander waren; indeß gewährte das Prismenfernrohr ein Mittel, dies noch durch einen directen Versuch zu prüfen. Da nämlich die beiden Bilder, welche man mit diesem Instrumente wahrnimmt, um so weiter von einander abstehen, je mehr das im Innern des Rohres befindliche Prisma, in dem die beiden Bilder entstehen, dem Objectiv genähert wird: so genügte es, sie nur zur Hälfte aus einander treten zu lassen; dann blieb der beiden Bildern gemeinschaftliche Theil während einer ganzen Umdrehung des Fernrohrs stets vollständig weiß, während die beiden Segmente, welche diesen Theil begrenzten, successive zwei Mal die ganze Reihe der prismatischen Farben durchliefen.

Das Prismenfernrohr gestattet, mit Leichtigkeit die beiden Bilder der Sonne mehr oder weniger über einander greifen zu lassen; man kann daher die Intensitäten der verschiedenen Theile ihrer Scheibe unter einander vergleichen. Wenn es nämlich zufolge des früher Erwähnten einleuchtend ist, daß ein weißes Segment entstehen muß, wenn man den Rand der rothen Sonne mit dem Rande der grünen Sonne zusammenfallen läßt, so steht nicht minder fest, daß diese Neutralisation der Farben, wenn man den Rand der einen der beiden Sonnen auf den Mittelpunkt der andern projicirt, nur dann stattfinden kann, wenn diese beiden Theile der Sonnenscheibe ursprünglich gleiche Intensität besitzen. Denn man begreift ohne Weiteres, daß wenn zwei farbige Lichtbündel Weiß erzeugen sollen, es nicht genügt, daß sie in ihrer Farbe complementär sind, sondern daß sie außerdem auch an Intensität gleich sein müssen. Ich will mich jetzt in keine weitern Details in dieser Beziehung einlassen, da ich beabsichtige, in einer besonderen Ab-

handlung, welche ich bald die Ehre haben werde, der Klasse vorzulegen, die Versuche, die ich sowohl in der eben angegebenen Weise als auch nach andern analogen Verfahren zur Messung der Lichtintensität angestellt habe, zu vereinigen, und dann Gelegenheit finden werde, über den Grad von Genauigkeit zu reden, den man von diesen Methoden erwarten kann.

Weiter oben habe ich die Farbenänderungen beschrieben, die man in den durch Glimmer- oder Gypsblättchen depolarisirten Strahlen beobachtet, wenn das Licht sie unter verschiedenen Neigungen durchdringt; der Bergkrystall zeigt ähnliche Erscheinungen. Im ersten Falle indeß bemerkt man die Farben bei allen Neigungen, und ihre Aufeinanderfolge ist sehr regelmäßig; im zweiten dagegen nähern sich, sobald man sich nur wenige Grade von der senkrechten Lage entfernt, die beiden anfänglich lebhaft gefärbten und überall dieselbe Nuance darbietenden Bilder gleichzeitig dem Weiß und werden von schmalen verschiedenfarbigen Streifen durchzogen. Wie dem auch sein möge, zieht man nur die in wenig von der senkrechten abweichenden Incidenzen beobachteten Erscheinungen in Betracht, so wird, während das eine der Bilder, z. B. das rothe successive durch Violett, Grün, Gelb und Roth u. s. w. hindurch geht, das andere Bild stets mit den complementären Farben der eben genannten erscheinen.

Wenn die Bewegung der Bergkrystallplatte dergestalt geschieht, daß sie stets auf der Ebene, in welcher die polarisirten Lichtstrahlen reflectirt werden, senkrecht bleibt, so kommt man bald auf eine Lage, in welcher man mit dem Kalkspathrhomboeder nur ein Bild wahrnimmt. Uebrigens bietet dieser Versuch das Merkwürdige dar, daß man, wenn dann die Platte um eine volle Umdrehung in ihrer eigenen Ebene gedreht wird, das zweite Strahlenbündel, welches bei fast senkrechtem Durchgange des polarisirten Lichtes durch die Krystallplatte so lebhaft gefärbt war, nicht wieder erscheinen sieht.

Wenn die eingeschaltete Platte gleichzeitig mit der Polarisationsebene und mit den reflectirten Strahlen schiefe Winkel bildet, so depolarisirt sie das Licht vollständig, weil das Kalkspathrhomboeder zwei Bilder gibt, die weiß sind und gleiche Intensität besitzen, welches auch die Lage der Platte in ihrer Ebene sein möge, vorausgesetzt, daß man

den Winkel nicht ändert, den ſie mit dem Horizonte oder mit den ſie durchdringenden Strahlen macht.

Sonach ertheilt alſo die Bergkryſtallplatte den ſie durchdringenden polariſirten Strahlen in einer erſten Lage keine neue Eigenſchaft.

In einer andern Lage dagegen, die ſich von der vorhergehenden nur dadurch unterſcheidet, daß das polariſirte Licht den Kryſtall unter einer näher an 90° gelegenen Incidenz trifft, werden die verſchieden gefärbten Strahlen in verſchiedenem Sinne depolariſirt. Endlich hat man geſehen, daß es möglich iſt, eben dieſelbe Platte ſo zu ſtellen, daß ſie in gleicher Weiſe auf alle verſchiedenfarbigen Molecüle, aus denen das weiße Licht beſteht, einwirkt.

Um mich zu vergewiſſern, daß die polariſirten Lichtſtrahlen bei ihrem Durchgange durch eine Bergkryſtallplatte eine dauernde Modification erlangen, habe ich ſie mit dem Kalkſpathrhomboeder erſt aufgefangen, nachdem ſie vorher durch einige mehr oder minder dicke Platten von gewöhnlichem Glaſe hindurchgegangen waren; indeß blieben die Erſcheinungen vollſtändig dieſelben als zuvor, wo ich die Strahlen unmittelbar nach ihrem Austritte aus der Bergkryſtallplatte unterſuchte. Auf demſelben Wege kann man gleichfalls erkennen, daß dieſe Strahlen bei ihrer Reflexion auf Metallſpiegeln keine ihrer Eigenſchaften verlieren, wenn man die beſondern Lagen und Neigungen der Spiegel ausnimmt, in welchen die gewöhnlichen polariſirten Strahlen ſelbſt theilweiſe modificirt werden. Das von einem nicht belegten Glasſpiegel unter einem Winkel von ungefähr 35° reflectirte Licht gleicht alſo in ſeinen Eigenſchaften einem der Bündel, in welche das durch ein Kalkſpathrhomboeder gehende Licht ſich theilt; geht indeß eben dieſes Licht durch gewiſſe Bergkryſtallplatten, ſo wird es zum zweiten Male modificirt, und erhält bleibende Eigenſchaften, welche es gleichzeitig von dem gewöhnlichen Lichte und von dem durch die bisher angewandten Mittel polariſirten unterſcheiden. Die Details, in die ich jetzt eingehen will, werden hoffentlich in Betreff dieſes Reſultates keinen Zweifel übrig laſſen.

Man ſpalte einen Bündel directen Lichtes mittelſt eines Rhomboeders von isländiſchem Kalkſpath; die beiden daraus hervorgehenden Strahlen werden weiß ſein und gleiche Intenſität beſitzen, mag das

einfallende Licht auf den Doppelspath treffen, nachdem es zuvor durch die Bergkrystallplatte gegangen ist, oder mögen die Strahlen erst durch die Platte gehen, nachdem sie durch die Einwirkung des Rhomboeders in zwei getrennte Bündel gespalten worden sind. Im ersten Falle nämlich müssen die Erscheinungen so eintreten, als ob die Platte nicht da wäre, weil sie auf nicht polarisirtes Licht keine Wirkung auszuüben scheint, und im zweiten wird man, obgleich die Strahlen bereits bei ihrem Austritte aus dem Rhomboeder modificirt sind, weil sie immer ihrer ersten Richtung folgen, nichts Auffallendes beobachten.

Um folglich zu erkennen, ob das Licht seine Beschaffenheit geändert hat, muß man es der Wirkung einer neuen doppelbrechenden Substanz unterwerfen. Ich werde annehmen, man verwende dazu ein zweites Kalkspathrhomboeder. Die beiden Strahlen, welche beim Austritte aus dem ersten Rhomboeder unmittelbar in das zweite eintreten, geben nun bekanntlich blos dann zwei Bilder, wenn die Hauptschnitte zu einander parallel oder senkrecht stehen; während eben diese Strahlen, wenn sie vor ihrem Eintritte in das zweite Rhomboeder durch die Bergkrystallplatte gehen, sich stets in vier, beziehlich complementär gefärbte Bilder theilen, welches übrigens auch die Lage der Hauptschnitte sein möge. Es folgt daraus, daß beim Austritte aus dem ersten Rhomboeder jedes Bild von Strahlen gebildet wird, die in demselben Sinne polarisirt sind, während nach dem Durchgange durch die Bergkrystallplatte die verschiedenfarbigen Molecüle, woraus die beiden weißen Bündel bestehen, ihre Pole nach verschiedenen Seiten gerichtet haben. Wenn z. B. die grünen Strahlen des ersten Bildes in der Ebene des Meridians polarisirt sind, so werden die complementären Strahlen in eben diesem Bilde die diametral entgegengesetzte Modification angenommen haben. In dem zweiten Bündel haben umgekehrt die rothen Molecüle ihre Pole in der Ebene des Meridians, während die grünen Strahlen senkrecht auf diese Ebene polarisirt sind.

Eines der schönsten Resultate, zu denen Malus bei seinen Untersuchungen geführt wurde, besteht, wie man sich erinnern wird, darin, daß wenn man z. B. den Hauptschnitt eines Kalkspathrhomboeders vertical stellt und die beiden in dieser Ebene austretenden Bündel auf einem Glasspiegel unter einem Winkel von ungefähr 35 Grad auf-

fängt, dasjenige Bild, welches durch die regelmäßige Brechung entsteht, sich wie nicht modificirtes Licht verhält, während das andere in seiner Gesammtheit das Glas durchdringt und Nichts von ihm reflectirt wird. Gesetzt nun, wir schieben, ohne irgend etwas an dieser Anordnung zu ändern, die Bergkrystallplatte zwischen das Rhomboeder und den reflectirenden Spiegel, so wird kein Bild verschwinden, weil dann, wie ich schon oben bemerkt habe, die verschiedenen Lichtmolecüle, woraus die beiden Bündel bestehen, nicht in einerlei Sinne polarisirt sind. Da die grünen Strahlen des ersten Bildes und die rothen Strahlen des zweiten in derselben Weise polarisirt sind, so werden sie gleichzeitig der partiellen Reflexion entgehen; von den beiden Bildern aber, welche man dann in dem Spiegel erblickt, wird das eine roth und das andere grün sein. Uebrigens leuchtet ein, daß, wenn man ohne die Lage der Platte zu ändern, das Rhomboeder um sich selbst dreht, die vom Spiegel reflectirten Bilder successive bei jeder halben Umdrehung alle prismatischen Farben durchlaufen werden mit der Eigenthümlichkeit, daß das regelmäßige und das unregelmäßige Bild stets complementär gefärbt sind.

Während also aus Malus' Versuchen hervorging, daß ein Glasspiegel, welcher stets durch ein und dieselbe Quantität weißen Lichtes unter einer bestimmten Neigung beleuchtet wird, doch je nach seiner Lage allen Strahlen einen freien Durchgang gewähren, oder eine gewisse Anzahl derselben reflectiren kann, so läßt sich aus den zuvor mitgetheilten Versuchen schließen, daß es möglich ist, den Lichtstrahlen eine solche Eigenschaft zu ertheilen, daß ein und derselbe durchsichtige Körper, beim Auffallen einer und derselben Lichtmenge unter einer bestimmten Neigung, während jeder halben Drehung sowohl im durchgelassenen als im reflectirten Lichte mit der ganzen Reihenfolge der prismatischen Farben gefärbt erscheint.

In den obigen Versuchen hing die Richtung der Depolarisation der verschiedenfarbigen Molecüle nicht von der Lage der Bergkrystallplatte in ihrer eigenen Ebene ab*); indeß, da beim Glimmer und Gyps die Lage des Hauptschnittes einen ganz bestimmten Einfluß auf

*) Dies lag an der eigenthümlichen Stellung ihrer Axe.

die Erscheinung und die Intensität des zweiten Bildes hatte, glaubte ich, daß es wichtig sein würde zu untersuchen, ob die Eigenschaft, die verschieden gefärbten Strahlen in verschiedener Weise zu depolarisiren, nur den krystallisirten Substanzen zukäme. Ich fand bald Körper, welche dieselben Eigenschaften in mehr oder weniger auffallendem Grade besaßen und doch nicht krystallisirt waren. Unter Andern besitze ich eine etwas prismatische Flintglasplatte von 85^{mm} Seite, und am stärksten Ende 8^{mm} Dicke, die in allen ihren Punkten die Strahlen depolarisirt; da aber diese Wirkung in den verschiedenen Theilen der Platte nur eintritt, wenn man sie in verschiedene Stellungen bringt, so ist es wahrscheinlich, daß sie in ihrem Innern sehr unregelmäßig zusammengesetzt ist, obwohl sie dem bloßen Auge ganz rein erscheint. Ohne Zweifel sind diese Ungleichförmigkeiten der Grund, weshalb die Platte in einigen Punkten die weißen Strahlen in Masse zu depolarisiren scheint, während sie in andern, nach Art des Bergkrystalles in verschiedener Weise auf die Molecüle der verschiedenen Farben wirkt, was in den beiden prismatischen Bildern complementäre Farben hervorruft. Unter andern Verfahren, diese Versuche anzustellen, hebe ich folgendes hervor, das man ohne Schwierigkeit anwenden kann.

Betrachtet man irgend ein Object durch zwei doppeltbrechende Prismen, so bemerkt man bekanntlich vier Bilder, ausgenommen in den Stellungen, wo ihre Hauptschnitte einander parallel sind oder auf einander senkrecht stehen. Bei diesen letzten Stellungen scheint es aber nach den Vorstellungen, die man sich von der eigenthümlichen Modification gemacht hat, welche das Licht beim Durchgange durch den ersten Krystall erleidet, als ob man im Allgemeinen die beiden andern Bilder nur wieder hervorrufen könne, wenn man ein doppeltbrechendes Mittel zwischen die beiden Prismen einschaltet; indem man ferner dies Mittel in seiner eigenen Ebene dreht, muß man vier rechtwinklig auf einander stehende Lagen finden, in welchen nur zwei Bilder sichtbar sind, vorausgesetzt jedoch, daß die Flächen des eingeschalteten Krystalles fast parallel sind: indeß zeigt die zuvor erwähnte Platte von Flintglas genau dieselben Resultate, obgleich sie keine doppelte Brechung besitzt. An einigen Stellen sind die beiden Bilder, welche durch ihre Einschaltung entstehen, weiß; an andern besitzen sie

complementäre Farben, dann aber sind die Hauptbilder selbst gefärbt; übrigens verhält sich diese Flintglasplatte gegen polarisirte Strahlen stets so, als ob sie krystallisirt wäre, weil die neuen Bilder bei jeder Vierteldrehung verschwinden. Damit dieser letztere Theil des Versuches gelinge, ist es unumgänglich nöthig, stets durch denselben Theil der Platte zu blicken; denn sie gleicht jenen krystallisirten Substanzen, welche durch irgend einen Umstand an einander grenzende Theile besitzen, deren Brechungsaxen nicht parallel sind.

Ich hatte daran gedacht, dieses Wiedererscheinen der Bilder als ein sehr geeignetes Mittel vorzuschlagen, um gleichzeitig das Vorhandensein einer Doppelbrechung in den krystallisirten Substanzen und die Richtung ihrer Axen zu erkennen, weil man dies Verfahren auf die kleinsten natürlichen Bruchstücke würde haben anwenden können, sobald nur die gegenüberliegenden Flächen parallel wären; da aber eine Flintglasplatte dieselben Erscheinungen zeigt, so folgt daraus, daß diese Methode nicht vollkommen sicher sein würde.

Ich gehe jetzt zu einigen Phänomenen über, die mit den vorhergehenden zusammenhängen, weil man zu ihrer Erzeugung gleichzeitig polarisirtes Licht anwenden muß, die aber in mehrfacher Beziehung von ihnen abweichen.

Bereits S. 35, 38, 42 habe ich hervorgehoben, daß beim Glimmer und Gyps eine Aenderung in der Dicke stets eine Aenderung in der Beschaffenheit der depolarisirten Farben hervorruft. Ich habe geglaubt, es dürfte wichtig sein zu untersuchen, ob in einer viel festern Substanz, wie im Bergkrystall, nicht dieselbe Wirkung eintreten würde. Zu diesem Zwecke nahm ich eine sehr reine Bergkrystallplatte und ließ sie regelmäßig schleifen, so daß eine ihrer Flächen fast eben und die andere merklich convex war. Da diese Art Linse in ihrem dünnsten Theile mehr als 1^{mm} Dicke hat und vom Rande aus nach dem Mittelpunkte hin sehr schnell in ihrer Dicke sich ändert, so hatte ich erwartet, daß darin gefärbte Ringe von der Art, wie sie Newton in seiner Optik beschreibt, nicht sichtbar sein würden. Und in der That war beim Betrachten des nicht polarisirten Lichtes durch diese Linse weder mit bloßem Auge noch mit Prismen aus Flintglas oder Kalkspath nicht die geringste Spur von Farben wahrzunehmen. Ich stellte dann die-

ſelbe Linſe in Licht, daß von einem Glasſpiegel reflectirt wurde; als ich jetzt aber durch ein Kalkſpathprisma nach der Linſe blickte, waren die beiden Bilder entweder von derſelben Farbe oder von ſehr ungleichen Intenſitäten, je nach den Stellungen der Hauptſchnitte des Prismas oder der Linſe. Waren die beiden Bilder ungleich hell, ſo ſah man beide von ſehr ſchönen Reihen farbiger Ringe eingefaßt.

Ließ man das Prisma in einer conſtanten Lage, ſo genügte es, die Linſe eine Vierteldrehung um ihren Mittelpunkt machen zu laſſen, damit die beiden anfangs ſehr ungleichen Bilder dieſelbe Intenſität annahmen. Man würde dieſelbe Wirkung erhalten, wenn man die Linſe unbewegt gelaſſen und das Prisma um einen Viertelskreis gedreht hätte; in dieſen beiden Fällen verſchwinden die Ringſyſteme gleichzeitig in jedem Bilde. Um ſie vier Mal verſchwinden und wieder entſtehen zu ſehen, genügt es, die Linſe oder das Prisma um eine volle Umdrehung um ihre Mittelpunkte zu drehen.

Aus dieſen Vorgängen allein iſt leicht zu ſehen, daß das von mir beſchriebene Phänomen von Depolariſationen abhängt, welche die verſchiedenfarbigen Strahlen in den verſchiedenen Dicken der Linſe erleiden. Es wird vielleicht nicht überflüſſig ſein, hinzuzufügen, daß die Ringe ſo nahe an einander liegen, daß ſie erſt gut ſichtbar werden, wenn der brechende Winkel des Kalkſpathprismas etwas beträchtlich iſt. Beobachtet man alſo mit einem achromatiſirtem Prisma oder durch die entgegengeſetzten und parallelen Flächen eines Rhomboeders, ſo ſieht man keine Spur von den Ringen, obgleich die beiden Bilder ſonſt ſtark getrennt ſind. Das Rhomboeder beſitzt, eben ſo wie das Prisma, die Eigenſchaft die verſchieden modificirten Strahlen zu trennen; dieſer Umſtand allein genügt aber nicht, um die Ringe deutlich zu machen; es iſt außerdem nöthig, daß ihre Umfänge nicht zu ſehr in einander greifen, und nur das Prisma kann, indem es die verſchieden gefärbten Strahlen ungleich bricht, dieſe letztere Wirkung erzeugen. Aus demſelben Grunde bemerkt man dieſe Ringe nicht mit der Glasſäule, welche blos die Eigenſchaft beſitzt, die verſchieden polariſirten Strahlen zu ſieben.

Nehmen wir jetzt an, wir betrachten, ohne an der Anordnung des vorhergehenden Verſuches etwas zu ändern, die Bergkryſtallinſe durch

ein gewöhnliches Glasprisma; so werden wir an einem ihrer Ränder eine Reihe von Ringen sehen, die unter übrigens gleichen Umständen um so merklicher wird, je größer die zerstreuende Kraft des Prismas ist. Diese Reihe, die übrigens stets weniger sichtbar ist, als diejenige, welche man mit dem Kalkspathprisma erblickt, verschwindet ebenso wie diese letzteren vier Mal während einer vollen Umdrehung der Linse.

Ich habe mir nicht Mühe gegeben, die Ringe zu zählen, weil die Zahl der wahrgenommenen um so beträchtlicher wird, je weiter das Kalkspathprisma von der Linse absteht und je größer sein Winkel ist. Man sieht sie mit gleicher Deutlichkeit, mag man sich eines Kalkspathprismas oder eines Kalkspathrhomboeders mit aufgelegtem Glasprisma bedienen. Ihre Ausdehnung und ihre Lebhaftigkeit schien mir nicht merklich sich zu ändern, in welchem Sinne ich auch den von der Oberfläche des Krystalls und den einfallenden Strahlen gebildeten Winkel variiren ließ. (Dies war der Linse, deren ich mich in diesem Versuche bediente, eigenthümlich.)

Die große Regelmäßigkeit dieser Ringe gestattet kaum die Annahme, daß sie von einem Mangel an Gleichartigkeit in der Masse der Linse abhängen. Der Krystall erscheint nicht nur dem bloßen Auge von der größten Reinheit, sondern ich habe auch niemals und in keiner Lage desselben weder mit einem Kalkspathrhomboeder, noch mit einer Glassäule die lebhaften und unregelmäßigen Farben wahrnehmen können, welche die genannten Mittel in vielen andern Stücken Bergkrystall erzeugen.

Um dann den Einfluß zu untersuchen, welchen die mehr oder weniger starke Krümmung der Linsen auf die verschiedenen Umstände des Phänomens äußern kann, habe ich mir eine große Zahl solcher converconcaven Bergkrystallplatten verschafft, wie sie die Steinschneider zur Anfertigung von Medaillons benutzen. Als ich sie den zuvor beschriebenen Prüfungen unterwarf, fand ich, daß alle im polarisirten Lichte Ringe geben. In einigen Platten sieht man selbst mit bloßen Augen Spuren davon; in andern genügt es zu ihrer Wahrnehmung durch ein Kalkspathrhomboeder oder selbst durch ein gewöhnliches Glasprisma zu blicken; bei gewissen Platten dagegen liegen die Umfänge der verschiedenen Ringe so dicht gedrängt, daß man sie auf diese Weise nicht bemerkt,

ſelbſt nicht mit einem Kalkſpathprisma; indeß werden in dieſem Falle die Ringe ſichtbar werden, wenn man zu dieſem erſten Prisma ein zweites Prisma aus gewöhnlichem Glaſe, das ſeine zerſtreuende Kraft vergrößert, hinzufügt. *)

Unter übrigens gleichen Umſtänden iſt die Anzahl der Ringe und die Breite ihrer Säume um ſo beträchtlicher, aus je größerer Entfernung man die Kryſtalle betrachtet. Dadurch gelingt es auch, Streifen in ſolchen Dicken zu erkennen, wo das Medaillon in größerer Nähe betrachtet nicht die geringſte Spur von Farbe zeigte. Mittelſt aller Vorſichtsmaßregeln, welche zur beſſern Sichtbarkeit der Ringe beitragen, d. h. als ich auf die Linſen vollſtändig polariſirtes oder von einem Glasſpiegel unter 35° Neigung zurückgeworfenes Licht fallen ließ und dann durch ein Kalkſpathprisma, auf das noch ein Flintglasprisma mit einem brechenden Winkel von 45° gelegt war, blickte, nahm ich in allen Bergkryſtallprismen farbige mit ihrer Kante parallele Linien wahr, obgleich bei einigen unter ihnen der brechende Winkel 25° betrug. Bringt man das Auge in hinreichend großen Abſtand von dieſen Prismen, ſo ſieht man die gefärbten Streifen aufeinander folgen, mit dunklen und ſehr ſchmalen Zwiſchenräumen, ſelbſt an Punkten, wo die Kryſtalle faſt ein Centimeter Dicke haben.

In mehreren meiner Medaillons erzeugt eine Aenderung in dem Winkel, unter welchem die reflectirten Strahlen ihre Oberflächen treffen, große Aenderungen in der Zahl der ſichtbaren Ringe, in ihren Durchmeſſern und in der Breite ihrer Säume. Unter Andern beſitze ich eine Platte, in welcher man die Ringe auf den beiden entgegengeſetzten Seiten ſelbſt bei ſenkrechten Incidenzen ſieht.

Nehmen wir an, daß man von dieſer Stellung ausgehend die Platte in Bezug auf die Lichtſtrahlen immer mehr und mehr neigt. Wenn die Bewegung in einer gewiſſen Richtung geſchieht, ſo wird man die Ringe auf beiden Seiten der Platte ihre Breite vermehren, ihren Durchmeſſer aber vermindern und ſich allmälich in einen centralen

*) In gewiſſen Linſen bemerkt man die fraglichen Ringe im durchgehenden Lichte ſelbſt bei Anwendung von nicht polariſirtem Lichte. (Nach der Leſung der Abhandlung hinzugefügte Bemerkung.)

Flecken verlieren sehen, der auf diese Weise alle Arten von Farben erhält. Es scheint beim ersten Blick, als ob, wenn man von der ursprünglichen Lage ausgehend der Platte eine Bewegung in einer der ersten entgegengesetzten Richtung ertheilt, man eine analoge Wirkung wahrnehmen müßte, weil in beiden Fällen der Krystall in Bezug auf die ihn durchdringenden Strahlen symmetrisch gestellt ist; man wird aber sehr bald erkennen, daß bei dieser zweiten Bewegung die Ringe, anstatt sich dem Mittelpunkte zu nähern, sich von ihm entfernen, wobei sie sich zusammendrängen, aber nur um eine geringe Größe. Mit einem Worte, wenn von einer gegebenen Lage des Krystalles aus das Vorrücken der Ringe nach dem Mittelpunkte durch eine Bewegung vorwärts entsteht, so wird eine Bewegung rückwärts dieselbe Wirkung hervorrufen, wofern man die Seite, welche zuerst links war, rechts gebracht hat, und dies, obgleich die Gestalt des Krystalles vollkommen regelmäßig ist. Ich habe diese merkwürdige Eigenthümlichkeit hervorgehoben, weil sie zur Aufstellung einer neuen Demarcationslinie zwischen diesen gefärbten Ringen und den von Newton im zweiten Buche seiner Optik beschriebenen dient; denn diese letztern (diejenigen wenigstens, welche sich zwischen zwei schwach converen Linsen bilden) wachsen im Durchmesser, welches auch die Richtung der Bewegung sein möge. Es ist fast unnütz zu bemerken, daß in allen vorstehend beschriebenen Versuchen die gefärbten Ringe um so besser begrenzt sind, je regelmäßiger der Krystall, auf welchem sie sich bilden, geschliffen, und je freier er in seinem Innern von Streifen ist, welche auf andern Platten die erste Ursache der Farben, die man darin entdeckt, wenn polarisirte Lichtstrahlen durch sie hindurchgehen, zu sein scheinen. Was die reflectirten Ringe betrifft, so bemerkt man sie unter denselben Umständen, wie die durchgelassenen, jedoch mit dem Unterschiede, wovon man leicht die Ursache findet, daß das Licht, bevor es auf den Krystall fällt, nicht bereits polarisirt zu sein braucht.

Résumé.

Ein Strahlenbündel directen Lichtes theilt sich bei seinem Durchgange durch ein Kalkspathrhomboeder, wie Erasmus Bartholin zuerst beobachtet hat, in zwei weiße Bündel von gleicher Intensität.

Unterwirft man das Licht, woraus jedes dieſer Bündel beſteht, der Einwirkung eines zweiten Kalkſpathrhomboeders, ſo findet man, daß es nicht mehr dem directen Lichte gleicht, weil es in gewiſſen Lagen des Hauptſchnittes dieſes zweiten Kryſtalles keine Doppelbrechung mehr erleidet. Die Entdeckung dieſer merkwürdigen Eigenſchaft verdanken wir Huygens.

Malus hat ſeitdem gefunden, daß die Lichtſtrahlen bei ihrer Zurückwerfung von durchſichtigen Körpern in analoger Weiſe modificirt werden, ſo daß das eine der beiden Bündel, in welche ſich das Licht bei ſeinem Durchgange durch einen mit Doppelbrechung begabten Kryſtall ſpaltet, vollſtändig dem Lichte gleicht, welches von einer paſſend aufgeſtellten Glasfläche unter einem Winkel von ungefähr 35° zurückgeworfen wird.

Aus den von mir berichteten Verſuchen ſieht man endlich, daß man außerdem den Strahlen eine ſolche Modification ertheilen kann, daß ſie weder dem directen Lichte, noch den gewöhnlichen polariſirten Strahlen gleichen; dieſe neuen Strahlen unterſcheiden ſich von dem polariſirten Lichte durch die Eigenſchaft, beim Durchgange durch ein Kalkſpathrhomboeder ſtets zwei Bilder zu liefern, und von dem gewöhnlichen Lichte durch die Eigenthümlichkeit, ſtets zwei complementär gefärbte Bilder zu geben, deren Farben ſich aber mit der Lage des Hauptſchnittes des Kryſtalles, durch welchen man ſie gehen läßt, ändern.

Fällt ein Bündel directen Lichtes auf einen durchſichtigen Körper, ſo erleidet ein Theil ſeiner Molecüle die partielle Reflexion. Ein polariſirter Strahl wird, von der Abſorption abgeſehen, gänzlich durchgelaſſen, wenn der durchſichtige Körper in einer gewiſſen Weiſe in Bezug auf die Seiten der Strahlen geſtellt iſt. Die verſchiedenfarbigen Molecüle, aus denen ein weißer Strahl beſteht, werden, wenn der Strahl die eigenthümliche Modification, um die es ſich hier handelt, erlitten hat, nur ſucceſſive nach einander in der Reihenfolge ihrer Farben zurückgeworfen, während der durchſichtige Körper ſich um den Strahl dreht und dabei ſtets denſelben Winkel mit ihm bildet.

Wenn man demnach einen Glasſpiegel um ein Bündel directen Lichtes dreht, ohne dabei ihre gegenſeitige Neigung zu ändern, ſo iſt

die Menge der durchgelaſſenen oder der reflectirten Strahlen in allen Lagen dieſelbe; wenn aber das Bündel bereits polariſirt iſt, und außerdem der Einfallswinkel 35° beträgt, ſo gibt es zwei diametral entgegengeſetzte Lagen, in welchen der Spiegel nicht ein einziges Molecül reflectirt. Nehmen wir endlich den Fall, daß, während alle übrigen Umſtände dieſelben bleiben, ein weißes bereits durch eine Bergkryſtallplatte modificirtes Lichtbündel auf den Spiegel fällt, ſo wird es ſucceſſive während jeder halben Umdrehung mit der ganzen Reihe der prismatiſchen Farben gefärbt erſcheinen, ſowohl bei der Zurückwerfung als bei der Brechung, und zwar mit der Eigenthümlichkeit, daß in demſelben Augenblicke dieſe beiden Klaſſen von Farben ſtets complementär ſind.

Die im Vorſtehenden berichteten Verſuche beweiſen ferner, daß ſich auf kryſtalliſirten Subſtanzen verſchiedenfarbige Ringe oder Streifen bilden, die nicht blos von den Aenderungen in der Dicke abhängen, wie die von Newton beſchriebenen farbigen Ringe.

Endlich ſieht man, daß, weil die oben erwähnte Flintglasplatte die Bilder nicht verdoppelt, Körper exiſtiren, die zwar keine Doppelbrechung beſitzen, aber ſich doch in Bezug auf die polariſirten Strahlen ſo verhalten, als ob ſie mit dieſer Eigenthümlichkeit begabt wären.

Bemerkungen über die Phänomene der Polarisation des Lichtes.

[Das Protokoll der Sitzung der physisch-mathematischen Klasse des Instituts von Montag dem 20. März 1812 enthält folgende Stelle:

„Herr Biot liest eine Notiz über einige, von der Polarisation des Lichtes durch Zurückwerfung und durch Brechung abhängige Erscheinungen."

„Herr Arago kündigt an, daß er zum Theil dieselben Beobachtungen gemacht habe; und bittet, die Klasse möge constatiren lassen, daß er sie in den Journalen des Observatoriums aufgezeichnet habe."

„Die Herren Burckhardt und Bouvard werden mit dieser Prüfung beauftragt."

Das Protocoll der nächsten Sitzung, von Montag dem 6. April spricht sich in folgender Weise aus:

„Herr Arago legt auf dem Bureau das Journal nieder, in welchem er seine Notizen über diejenigen Erscheinungen der Polarisation des Lichtes, von denen er in der vorigen Sitzung sprach, verzeichnet hat, und die beim Herausgehen aus der Sitzung von dem zu diesem Zwecke ernannten Commissaren, den Herren Burckhardt und Bouvard, mit ihrer Namensunterschrift versehen worden sind; daraus ergibt sich, daß die von Herrn Arago gemachte Angabe die strengste Wahrheit enthält."

Die in diesen beiden Protokollen erwähnten Bemerkungen sind es, welche hier zum ersten Male gedruckt erscheinen, und zwar getreu

nach dem Manuscripte, dessen sämmtliche Blätter die folgende Notiz enthalten: „Unterzeichnet durch uns, die vom Institut ernannten Commissare, am 30. März 1812 um 4 Uhr 40 Minuten Nachmittags. Bouvard, Burckhardt."}

Die Farben, welche man auf den mit feinen Furchen versehenen Gläsern bemerkt, wenn dieselben im zurückgeworfenen Lichte und unter einer angemessenen Neigung betrachtet werden, sind polarisirt.

Dagegen zerlegen sich die unter denselben Umständen durchgelassenen Farben in zwei Bilder von gleicher Intensität, wenn man sie mit einem Kalkspathprisma untersucht.

(Man muß sich erinnern, daß bei dem Phänomene der farbigen Ringe die durchgelassenen Ringe unter demselben Winkel und auf dieselbe Weise polarisirt sind, wie die zurückgeworfenen Farben.) *)

Bei dem Phänomene der farbigen Ringe verfolgen die beiden Theile complementär gefärbten Lichtes, aus denen die weißen Strahlen bestehen, bevor sie die Glaslinsen treffen, verschiedene Wege, sind aber auf dieselbe Weise polarisirt.

Bei dem Phänomene der gefurchten Gläser ist der Theil des farbigen Lichtes, welcher zurückgeworfen wird, stark durch Reflexion polarisirt; der complementäre (?) und durchgelassene Theil scheint aber nicht modificirt zu sein.

Wenn die Furchen des Glases hinreichend tief sind und in angemessenen Abständen von einander liegen, so bemerkt man rechts und links vom Hauptbilde eine zusammenhängende Reihe prismatischer Bilder, sowohl im zurückgeworfenen, als auch im durchgelassenen Lichte.

Bei der Reflexion sind diese prismatischen Bilder unter denselben Umständen wie das Hauptbild polarisirt; beim Durchgange aber scheint das Licht, woraus sie bestehen, nicht modificirt zu sein.

Läßt man bereits polarisirtes Licht auf ein gefurchtes Glas fallen, so bemerkt man stets die prismatischen Bilder, welche das Hauptbild begleiten, wenn auch die Lage des Glases in Bezug auf die Strah-

*) Vergl. die obige Abhandlung über die Farben dünner Blättchen. S. 13.

len diejenige ist, in welcher nicht ein einziges Lichtmolecül reflectirt wird. (Diesen Versuch wiederholen.)

„Eine Platte von isländischem Doppelspath oder jedem andern doppeltbrechenden Mittel mit Furchen versehen, und untersuchen, ob die prismatischen Bilder wie bei gewöhnlichem Glase polarisirt sind, welches auch die Lage der Furchen in Bezug auf die Axe der Doppelbrechung des Krystalles sein möge (gebeugte und reflectirte Bilder)."

Untersucht man unter angemessener Neigung ein von einem Spiegel reflectirtes Licht durch ein gefurchtes Glas, so werden die Beugungsbilder, von denen das Hauptbild begleitet ist, nicht depolarisirt sein, wie man wohl hätte vermuthen können.

Die farbigen Ringe, welche sich um den Berührungspunkt eines Glas- und Metallspiegels bilden, sind im zurückgeworfenen Lichte und unter angemessener Neigung gesehen, polarisirt.

Die Ringe, welche den Berührungspunkt zweier Gläser umgeben, sind ebenfalls polarisirt.

(Untersuchen, ob diese beiden Klassen von Ringen unter derselben Neigung polarisirt sind.)

Die farbigen Ringe scheinen allein auf Kosten des Lichtes gebildet, das unter dem Einflusse, welchen die zweite Linse auf die Strahlen ausgeübt hat, partiell zurückgeworfen werden würde. Wenigstens gibt man dadurch Rechenschaft von dem Glanze der Ringe, der in dem Maaße immerfort wächst, als die Gesichtsstrahlen mehr und mehr gegen die Oberfläche der Gläser, auf denen man sie bemerkt, geneigt werden. Diese Annahme erklärt auch, warum die durchgelassenen Ringe ebenso wie die reflectirten polarisirt sind.

Wenn die farbigen Ringe sich auf der untern Fläche des ersten Glases bilden, so werden sie nach der vorhergehenden Annahme vollständig polarisirt sein, sei es, das dies erste Glas auf einem ähnlichen Glase oder auf einem Metallspiegel liegt.

Wenn die Ringe sich auf der ersten Oberfläche des zweiten Spiegels bilden, so werden sie, wie mir scheint, wenn der Spiegel von Glas ist, unter denselben Umständen polarisirt sein, wie ein Strahl gewöhnlichen Lichtes. Wenn aber der Spiegel von Metall ist, so werden die Ringe nur unter der Neigung polarisirt sein dürfen, wo die Metall-

spiegel das Licht vollständig polarisiren. (Sonach würde unter dieser Voraussetzung die Beobachtung des Verschwindens der Ringe zur Bestimmung des Winkels dienen können, unter welchem die Metalle das Licht polarisiren.)

Wenn man zwei übereinandergelegte Glaslinsen in eine solche Lage in Bezug auf ein Bündel polarisirter Strahlen bringt, daß kein Lichtmolecül zurückgeworfen werden darf, so sieht man weder bei der Zurückwerfung noch bei der Brechung Ringe. Diese Thatsache, welche unmittelbar aus einer der vorhergehenden Beobachtungen hergeleitet werden könnte, beweist noch, daß die Ringe sich ganz allein auf Kosten des partiell reflectirten Lichtes bilden.

Vergleicht man, wie Newton gethan hat, die Farben der Körper mit denen der farbigen Ringe, so würde die Annahme natürlich scheinen, daß, wenn einer dieser Körper in solche Stellung gebracht wird, wo die Glaslinsen gar keine Ringe geben, man ebenso wenig Farben sehen dürfte, oder daß man wenigstens dieselben merklich geschwächt sehen müßte, was der Erfahrung widerspricht. (Diesen Versuch wiederholen, besonders mit dünnen farbigen Körpern ..... Mehrere solcher dünnen Körper übereinanderlegen, ob einer unter ihnen nicht ziemlich lebhafte Farben gibt.)

(a).

Ein sehr einfaches Mittel, um sich zu vergewissern, daß keine Ringe entstehen, wenn die Strahlen, welche auf die beiden aufeinander gelegten Glaslinsen fallen, polarisirt sind und in Bezug auf die Oberflächen der Gläser eine solche Lage haben, daß sie keine partielle Reflexion erleiden, besteht darin, daß man eine Linse aus gewöhnlichem Glase auf eine Linse oder im Allgemeinen auf irgend eine Platte von Kalkspath legt. Denn wenn der Doppelspath unten liegt, so wird man nur eine einzige Reihe von Ringen sehen, die aber unter allen Neigungen sichtbar bleibt; liegt dagegen der Kalkspath oben, so wird

man zwei Syſteme farbiger Ringe wahrnehmen. Dreht man aber die Linſe um ihren Mittelpunkt, ſo wird man unter allen Neigungen die Syſteme nach jeder Vierteldrehung ſucceſſive ſchwächer werden ſehen. Wenn der Winkel der reflectirten Strahlen gegen die Berührungsfläche der beiden aufeinandergelegten Gläſer ungefähr 35° beträgt, ſo wird man die Ringſyſteme während einer ganzen Umdrehung der Linſen ſucceſſive zwei Mal verſchwinden ſehen. Wenn das Ringſyſtem A in irgend einer Lage verſchwindet, ſo wird das Syſtem B unſichtbar, wenn man von dieſer Lage aus die beiden Gläſer um einen Viertelkreis dreht. Nach einer zweiten Vierteldrehung verſchwindet das Syſtem A auf's Neue, während das Ringſyſtem B nach drei Viertelumdrehungen wieder unſichtbar iſt. Unter kleineren Neigungen als 35° verſchwinden die Ringe nicht vollſtändig, werden aber, eben ſo wie bei größeren Neigungen, um ſo ſchwächer, je mehr man ſich den Lagen und der Neigung nähert, unter welcher ſie zuvor ſucceſſive verſchwanden.

Unterſucht man die durchgelaſſenen Ringe unter paſſender Neigung, ſo gewahrt man ganz analoge Phänomene, wie die eben beſchriebenen. Es iſt übrigens leicht zu ſehen, daß in dieſen beiden Fällen das ſucceſſive Verſchwinden der Ringe davon abhängt, daß bei jeder Vierteldrehung eines der durch die Doppelſpathplatten gelieferten Lichtbündel ſich in einer Anwandlung zum leichteren Durchgange befindet und deshalb der partiellen Reflexion entgeht.

Legt man eine Glasplatte auf einen Metallſpiegel, ſo bemerkt man um den Berührungspunkt farbige Ringe gerade ebenſo gut, als wenn man zwei Glasplatten aufeinander legt. Die Farbe des centralen Fleckens hängt von dem Grade der Annäherung oder des Druckes ab, dem man die beiden Körper ausſetzt. Man ſieht übrigens nur ein einziges Ringſyſtem, welches auch die Neigung ſein mag, unter der man nach der Glaslinſe blickt. Nehmen wir jetzt an, daß man irgend einen undurchſichtigen Körper auf die obere Fläche des erſten Glaſes legt: der erſte Schatten dieſes Körpers wird ſich vervielfachen, indem er nach einander wiederholt von der erſten zur zweiten Fläche des Glaſes reflectirt wird. Dies angenommen, ſo wird man, wenn man den erſten Schatten auf das erſte Ringſyſtem führt, neue Reihen von Rin-

gen ſich auf die folgenden Schatten projiciren ſehen; die Mittelpunkte und die ſucceſſiven Farben der Ringe werden in allen Reihen dieſelben ſein, unter welcher Neigung man ſie auch betrachten mag; die Mängel, welche die Unregelmäßigkeiten des Glaſes in den Ringen der erſten Reihe erzeugen, wiederholen ſich in allen folgenden und ſecundären Reihen.

[Der von Burckhardt und Bouvard unterzeichnete Text hört hier auf; daſſelbe Journal enthält aber etwas weiter hin die folgenden Seiten, die ſich augenſcheinlich auf die in Rede ſtehenden Verſuche beziehen.]

Geſetzt wir legen, anſtatt wie in dem Verſuche (a) ein Stück Doppelſpath, eine Bergkryſtallplatte auf eine Glasfläche: in dem erſten Falle waren die beiden Bündel, daß regelmäßige und das unregelmäßige hinreichend getrennt, und erzeugten daher zwei unterſchiedene Syſteme von Ringen; in dem andern Falle verfolgen die beiden Bündel ſehr nahe denſelben Weg, und bilden deshalb nur ein einziges Syſtem von Ringen, in welchem die beiden Arten von Strahlen ſich vermengt finden. Auch bleiben die Ringe, in welche Lage man auch den Apparat bringen mag, immer ſichtbar. Unterſucht man mit einem Kalkſpathprisma die Ringe, welche den Berührungspunkt zweier auf einander liegender Glaslinſen umgeben, ſo bemerkt man nur ein einziges Bild der Ringe, wenn die ſie erzeugenden Strahlen unter einem Winkel von ungefähr 35° zurückgeworfen werden, und wenn außerdem der Hauptſchnitt des Prismas zur Reflexionsebene parallel oder ſenkrecht iſt. Man begreift, daß wenn man auf dieſelbe Weiſe die von dem Apparate, in welchem ſich die Bergkryſtallplatte befindet, reflectirten oder durchgelaſſenen Ringe unterſucht, zu den obigen Bedingungen, wenn nur ein Syſtem von Ringen ſichtbar ſein ſoll, auch noch die hinzutreten muß, daß der Hauptſchnitt des Kryſtalles ſenkrecht oder parallel zur Reflexionsebene liegt.

Der eben berichtete Verſuch würde dienen können, um das Vorhandenſein und die Richtung der Doppelbrechung in den kryſtalliſirten

Subſtanzen, welches auch übrigens ihre äußere Form ſein mag, zu beſtimmen. Folgendes iſt die erſte Anwendung, die ich von dieſem Verfahren gemacht habe.

Wie Hauy bemerkt hat, kann der Glimmer ſo dünn gemacht werden, daß er die Farben der Ringe zeigt. Man betrachte ein ſehr dünnes Glimmerblättchen durch ein Kalkſpathprisma; man wird bald die Lage finden, wo die Farben nur in dem einen der Bilder ſichtbar ſind. Wenn das Glimmerblättchen eine Are der Doppelbrechung hätte, ſo würde es um das zweite prismatiſche Bild erſcheinen zu laſſen genügen, das Blättchen um ſich ſelbſt zu drehen, weil dann die Farben durch in zwei entgegengeſetzten Richtungen polariſirte Strahlen gebildet werden würden; die Erfahrung lehrt uns aber, daß das Glimmerblättchen ſich bei dieſem Phänomene wie ein ſehr dünnes Blättchen von gewöhnlichem Glaſe verhält, ſo daß das Verſchwinden eines der Bilder nicht von der Lage des Blättchens in ſeiner eigenen Ebene, ſondern allein von dem Winkel abhängt, unter welchem die Lichtſtrahlen das Glimmerblättchen treffen, und von der Lage des Hauptſchnittes des Prismas, das man zur Beobachtung benutzt.

Die Farben, welche man auf ſehr dünnen Glimmerblättchen wahrnimmt, gehören in eine Klaſſe mit denjenigen, welche eine dünne zwiſchen zwei Gläſern eingeſchloſſene Luftſchicht erzeugt, weil unter beiden Umſtänden die unter demſelben Winkel reflectirten und durchgelaſſenen Strahlen genau complementär ſind, wie man ſich leicht überzeugen kann.

Die Lichtſtrahlen, welche ein ſehr dünn geblaſenes Glasblättchen durchdringen, ſind durch Reflexion polariſirt, bevor das Blättchen den Grad von Dünne erreicht hat, welcher dem erſten Auftreten der Farben entſpricht.

Das Lichtbündel, welches unter angemeſſener Neigung eine Säule von Glasplatten durchdringt, iſt durch Brechung polariſirt, während der Theil des Lichtes, welcher ſucceſſive reflectirt wird, in entgegengeſetztem Sinne polariſirt iſt; denn Malus hat gezeigt, daß, ſobald eine gewiſſe Menge Licht durch Reflexion polariſirt wird, ein anderer durch Brechung polariſirter Theil den Körper durchdringt. Wenn man, anſtatt Glasplatten von einer gewiſſen Dicke übereinander zu legen,

Stückchen sehr dünn geblasenen Glases übereinander legt, wird man nicht ein austretendes Lichtbündel erhalten, das gleichzeitig aus in den beiden Richtungen polarisirten Molecülen zusammengesetzt ist? Werden die verschiedenen Elemente dieser neuen Säule, indem sie auf das Licht wie die Glasplatten von einer gewissen Dicke wirken, nicht einige Strahlen durch Brechung polarisiren, während die Strahlen der farbigen Ringe, welche durch sie hindurchgehen, durch Reflexion polarisirt sind? Hat man nicht dieser Ursache die beiden Arten von Polarisation zuzuschreiben, welche die mit Doppelbrechung begabten Körper einem und demselben Bündel directen Lichtes ertheilen? Was dieser Hypothese einige Wahrscheinlichkeit verleihen könnte, ist, daß alle Körper, in denen man eine Axe doppelter Brechung bemerkt hat, in der That aus übereinander gelegten Blättchen bestehen, und daß außerdem für gewisse Lagen der Blättchen in Bezug auf die Strahlen die Wirkungen der Doppelbrechung verschwinden. Wenn diese Vermuthung durch directe Versuche bestätigt wird, d. h. wenn die sehr dünnen Glasblättchen auf das Licht gleichzeitig wirken wie dünne Blättchen und wie reflectirende Körper von einer gewissen Dicke, so wird man von dem auffallendsten Phänomene der Doppelbrechung leicht Rechenschaft geben können, indem man annimmt, daß die mit dieser Eigenschaft begabten Körper durch sehr dünne, angemessen geneigte und von einander getrennte Blättchen gebildet werden. Es wird dann nur noch übrig bleiben, die Erklärung für die Trennung der Bilder zu suchen.

Abhandlung über mehrere neue optiſche Phänomene,

geleſen am 14. December 1812

in der mathematiſch-phyſiſchen Klaſſe des kaiſerlichen Inſtituts von Frankreich.*)

Es gibt keine Fragen in der Optik, welche die Aufmerkſamkeit der Phyſiker mehr verdienten, als diejenigen, welche ſich auf die Theorie der gefärbten Ringe beziehen; denn bekanntlich ſtützt ſich auf dieſe Theorie die Erklärung, welche Newton von den natürlichen Farben der Körper gegeben. Zwar hat Berthollet in der ſchönen Einleitung, die ſich am Anfange ſeines Traité sur l'art de la teinture findet, gezeigt, daß dieſe Art, das Phänomen anzuſehen, vielen Bedenken unterliegt; indeß auch unabhängig von jeder Anwendung iſt es um ſo wichtiger, die Urſache der Zerlegung, welche das Licht durch verſchiedene Dicken eines durchſichtigen Körpers erleidet, aufzuſuchen, je enger dieſelbe mit der Natur der Strahlen und der Kräfte, welche auf jene wirken, verknüpft zu ſein ſcheint. Seit langer Zeit habe ich mich in den wenigen Mußeſtunden, welche mir die Aſtronomie übrig läßt, mit derartigen Unterſuchungen beſchäftigt, und einige Reſultate erhalten, welche mir ihrer Natur nach zur Aufklärung der Frage geeignet ſcheinen; auch

---

*) Das Manuſcript der hier zum erſten Male gedruckten Abhandlung iſt auf jedem Blatte von Delambre, damaligem beſtändigen Secretär der Klaſſe der exacten Wiſſenſchaften des Inſtituts unterzeichnet worden.

habe ich bereits zu zwei verſchiedenen Malen die Ehre gehabt, die Klaſſe von dieſer Arbeit zu unterhalten. In der erſten Abhandlung zeigte ich, daß nicht alle Lichtſtrahlen ohne Unterſchied zu der Bildung der Ringe beitragen, oder daß wenigſtens diejenigen, welche durch die Wirkung des dünnen Blättchens zerlegt werden, unter gewiſſen Winkeln eine Modification erfahren, die man nach Malus' Unterſuchungen als die ausſchließliche Eigenſchaft der reflectirten Strahlen zu betrachten gewohnt war.*) Infolge dieſer Modification iſt das Licht, welches die durchgelaſſenen Farben erzeugt, unter derſelben Neigung und in demſelben Sinne polariſirt als die reflectirten Strahlen. Dies an ſich ſchon ſehr auffallende Reſultat wurde es noch mehr, als Malus gezeigt hatte, daß unter allen andern Umſtänden die Strahlen, welche die durchſichtigen Körper durchdringen, im entgegengeſetzten Sinne als die zurückgeworfenen polariſirt ſind.

Die Verſuche, welche Newton im dritten Buche ſeiner Optik berichtet, zeigen, daß die Dicken, bei welchen die durchſichtigen Körper die Farben der erſten Ordnungen entwickeln, außerordentlich gering ſind. Andererſeits haben die Mineralogen dargethan, daß die Kryſtalle aus übereinander liegenden dünnen Blättchen beſtehen. Die Spaltungsrichtung iſt oft dermaßen ſichtbar, daß man mittelſt eines ſcharfen Inſtrumentes und bisweilen mit geringſter Anſtrengung die aufeinanderfolgenden Blättchen zu trennen vermag. Dieſer Umſtand beweiſt, daß dieſelben nicht ganz und gar in Berührung ſind; denn im letzteren Falle würden wenig beträchtliche Kräfte wahrſcheinlich nicht im Stande ſein, ſie zu trennen. Wenn aber der Zwiſchenraum zwiſchen zwei benachbarten Blättchen von derſelben Ordnung iſt, wie derjenige, in welchem die Ringe ſich bilden, warum bemerkt man in den meiſten Kryſtallen nicht die geringſte Spur von Ringen? Dieſe Frage, woraus man einen Einwand gegen die allgemeinen von Newton aus ſeinen Verſuchen über den Einfluß der Dicke gezogenen Schlüſſe hätte hernehmen können, war der Ausgangspunkt meiner zweiten Abhandlung**). In ihr habe ich die Verfahren beſchrieben, mittelſt deren

*) Vergl. oben S. 15 u. 16.

**) Oben S. 31 bis 59.

man Farben und deutliche Ringe selbst in dem Bergkrystalle bemerkt, dessen Blättchen doch dergestalt einander genähert sind, daß die Mineralogen bis jetzt die Richtung ihrer Uebereinanderlage noch nicht zu bestimmen vermocht haben. Außerdem habe ich gezeigt, daß man mittels Glimmer, Gyps, in gewissen Richtungen geschnittener Bergkrystalle, und selbst mancher Platten von Flintglas den Lichtstrahlen dauernde Eigenschaften ertheilen kann, welche sie gleichzeitig von dem directen Lichte und von den gewöhnlichen polarisirten Strahlen unterscheiden. Ich schlage vor, diese neuen Strahlen Strahlen mit gefärbten Aren zu nennen, um sie von denjenigen zu unterscheiden, die nur durch Reflexion oder beim Durchgange durch einen doppeltbrechenden Krystall polarisirt worden sind, und die man im Gegensatz dazu als Strahlen mit weißen Aren bezeichnen könnte.

Die Säule aus Glasplatten, welche Malus mit so großen Vortheilen bei der Untersuchung der Polarisationsphänomene des Lichtes benutzt hat, besitzt, wie man weiß, die Eigenschaft, sehr unbehindert die polarisirten Strahlen durchzulassen, welche ihre Flächen in einer bestimmten Weise treffen, während nach einer Viertelumdrehung der Säule eine sehr große Anzahl Strahlen auf den Oberflächen der verschiedenen Platten reflectirt wird, obwohl die Neigungen gegen die Flächen dieselben sind, wie im ersten Falle. Nun, ein Stück Schwerspath besitzt genau dieselben Eigenschaften bis auf die Färbung, und die Aehnlichkeit ist der Art, daß man bei Nacht, wenn man nach einer schwach erleuchteten Ebene blickte, Mühe haben würde, den Krystall von jener Vorrichtung, wenigstens durch seine Wirkungen, zu unterscheiden. Die Lage, in welcher der Krystall nur sehr wenige rothe Strahlen durchläßt, würde der Lage der Glassäule entsprechen, bei welcher fast kein Licht durchgeht, und nach einer Viertelumdrehung würden beide Apparate wieder analoge Resultate geben; denn die Menge der durchgelassenen Strahlen würde in beiden Fällen auf dieselbe Weise wachsen. Die Säule aus Glasplatten erzeugt dieselben Phänomene, von denen ich so eben gesprochen habe, in um so vollständigerer Weise, je größer die Anzahl ihrer Platten ist; die Schwerspathkrystalle lassen ebenfalls zwei um so lebhaftere und von einander mehr abweichende Farben hindurch,

je größer die Anzahl der übereinanderliegenden Blättchen ist aus denen sie bestehen, oder je dicker sie sind.

Bei der Glassäule ändern sich die Wirkungen rasch mit der Neigung der Strahlen gegen ihre Flächen. In einem Schwerspathkrystalle erzeugen die Strahlen, welche dasselbe System von Blättchen in verschiedenen Richtungen durchlaufen, ebenfalls sehr verschiedene Erscheinungen. Man muß übrigens nicht erwarten, diese Analogie bis in die kleinsten Details sich fortsetzen zu sehen; denn in dem einen Falle gibt es zwei verschieden polarisirte Lichtbündel, welche ein System sehr wenig von einander getrennter Blättchen durchlaufen, während im andern nur ein Lichtbündel existirt, das viel weiter von einander abstehende Glasplatten durchdringt.

In der Abhandlung, die ich veranlaßt bin so oft zu citiren, weil die Erscheinungen, auf welche sich die vorliegenden Untersuchungen beziehen, den von mir bereits beschriebenen analog sind, habe ich gezeigt, daß die Eigenthümlichkeiten der Strahlen mit farbigen Axen davon herrühren, daß die verschiedenfarbigen Molecüle ihre Polarisationsaxen nach verschiedenen Ebenen gerichtet haben. Durch welche Kräfte aber wird der Strahl bei seinem Durchgange durch mehrere Krystalle gewissermaßen aus seiner Form gebracht? Die Antwort auf diese Frage wird nicht schwierig sein, wenn man beweisen kann, daß die Blättchen, woraus diese Krystalle bestehen, hinreichend von einander entfernt sind, so daß die Erscheinungen der Doppelbrechung und der partiellen Reflexion des Lichtes auf jeder derselben getrennt stattfinden können. Denn es ist klar, daß es durch eine Vereinigung passend angeordneter Kalkspathkrystalle möglich sein würde, künstlich einen Lichtstrahl zu bilden, welcher vollkommen einem durch jedes andere Verfahren polarisirten Strahle gleicht. Dazu würde genügen, den rothen Strahl, welcher aus dem ersten Krystall käme, z. B. mit dem aus einem zweiten Krystalle, dessen Hauptschnitt mit dem des ersten einen bestimmten Winkel bildete, austretenden orangefarbigen Strahle zu verbinden; ferner zu diesen beiden Strahlen den gelben oder grünen durch einen dritten Krystall, dessen Hauptschnitt mit denen der beiden ersten Azimutalwinkel von einer gewissen Anzahl Grade bildete, gegangenen Strahl hinzuzufügen u. s. f.; wobei selbstverständlich die Anzahl und

Lage der zu dieſem Verſuche erforderlichen Rhomboeder mit der Natur des Kryſtalles, den man angewandt hätte, um den gewöhnlich polariſirten Strahl in einen Strahl mit gefärbten Axen zu verwandeln, verſchieden ſein würde. Nun, das ſo eben angegebene complicirte und unausführbare Verfahren zur Bildung dieſer letzten Klaſſe von Strahlen kann in allen möglichen Kryſtallen gefunden werden, vorausgeſetzt, daß man annimmt, daß Syſteme von Blättchen vorhanden ſind, welche in beſtimmten Richtungen geordnet liegen und hinreichende Entfernungen von einander beſitzen, damit der Strahl in dem Zwiſchenraume eine partielle Reflexion, ähnlich derjenigen, welche ihn bei dem Phänomene der Ringe in ſeine gefärbten Elemente zerlegt, erleiden kann. Ich habe es mir daher angelegen ſein laſſen, die Beweiſe für die Exiſtenz dieſer Blättchen und die Richtung ihrer Uebereinanderſchichtung, ich ſage nicht im Glimmer und Gyps, deren Blättchen ſehr leicht getrennt werden können, ſondern in dem Bergkryſtalle aufzuſuchen, der bekanntlich ein ſo dichtes Gefüge beſitzt, daß man bis jetzt nicht vermocht hat, die Richtung ſeines Durchganges zu beſtimmen. Dies iſt das Ziel der meiſten der Verſuche, die ich jetzt mittheilen werde.

Ich habe mir eine ſehr große Zahl Linſen und Prismen von Bergkryſtall, die nach den verſchiedenſten Richtungen geſchnitten waren, verſchafft, und nachdem ich ſie nach einander mit polariſirtem Lichte erleuchtet hatte, mit doppeltbrechenden Kryſtallen unterſucht; alle ohne Unterſchied haben theils gefärbte Ringe theils farbige Streifen gezeigt. In einigen waren dieſe Streifen mit bloßen Augen ſichtbar, bei andern mußte man ein gewöhnliches Glasprisma zu Hülfe nehmen; aber in dieſen beiden Fällen waren die Farben, wenn man die Platten mittelſt eines Kalkſpathrhomboeders unterſuchte, in beiden Bildern äußerſt lebhaft. In einigen Linſen, die ſonſt den andern in allen Beziehungen zu gleichen ſchienen, mußte man die beiden ſo eben angeführten Verfahren vereinigt anwenden, um Farben entſtehen zu laſſen; denn das Rhomboeder allein genommen zeigte zwei vollkommen weiße Bilder. Wenn man aber dem Rhomboeder, das die Eigenſchaft beſitzt, in die beiden getrennten Bildern verſchieden polariſirte Streifen überzuführen, ein ſtark zerſtreuendes Prisma hinzufügt, das ihre Bahnen infolge der ungleichen Brechbarkeit der verſchiedenfarbigen

Strahlen von einander trennt, ſo wird man in allen Fällen Ringe wahrnehmen.

Aendern ſich dieſe Streifen nur mit der materiellen Dicke des Kryſtalles, auf dem ſie ſich bilden, oder hängen ſie noch beſonders von den Zwiſchenräumen ab, die ſeine verſchiedenen Blättchen trennen? Dies iſt die zweite Frage, welche geprüft werden muß.

In einer meiner Linſen, die auf der einen Seite plan, auf der andern ſehr convex iſt, ſehe ich z. B. unter einer gewiſſen Neigung einen rothen Streifen, der mit ihrem äußeren Rande parallel zu ſein ſcheint und folglich Punkten einer conſtanten Dicke entſpricht; ſobald man aber den Winkel, unter welchem die polariſirten Strahlen die Linſe durchdringen, nur etwas ändert, hört der eben bezeichnete Parallelismus auf, und ſofort geht der rothe Streifen, ohne ſeine Continuität zu verlieren, vom Rande, wo der Kryſtall ziemlich dünn iſt bis zur Mitte, wo ſeine Dicke nahe um mehr als 1 Millimeter größer iſt. Daraus folgt, daß ein und derſelbe Ring in allen zwiſchen 1 und 2 Millimetern liegenden Dicken des Kryſtalles gebildet werden kann, oder mit andern Worten, daß die von Newton für die gewöhnlichen Ringe gegebene Regel auf die von mir in den Kryſtallen entdeckten nicht anwendbar iſt, weil dieſelben nicht blos von der materiellen Dicke des Körpers abhängen. Wenn es nöthig wäre, mein Reſultat noch weiter zu rechtfertigen, ſo würde ich darauf hinweiſen, daß bei einer gewiſſen Bewegung der Linſe die Ringe ſämmtlich nach dem Mittelpunkte der Linſe gehen, um dort zu verſchwinden und nach einander ſehr breite und gleichmäßig gefärbte Flecken zu bilden; da nun die Convexität der Linſe ſehr ſtark iſt, ſo folgt daraus, daß unter einer beſtimmten Neigung dieſelbe Farbe bei unzählig vielen von einander ſehr verſchiedenen Dicken depolariſirt werden kann. Uebrigens habe ich bei einer andern Veranlaſſung unzweifelhaft gezeigt, daß dieſe Farben den Charakter derjenigen beſitzen, welche auf einem ſehr wenig dichten Mittel entſtehen, das zwiſchen zwei andere dichtere, parallele oder prismatiſche Körper eingeſchloſſen iſt.

Der auffallendſte Verſuch von den im zweiten Buche der Optik angeführten iſt nach Newton's eigenem Urtheile derjenige, wodurch dieſer berühmte Phyſiker zeigt, daß das Prima auch in ſolchen dünnen

Platten farbige Ringe zeigt, welche mit bloßen Augen gesehen, durchsichtig, weiß, gleichförmig und überall gleich beleuchtet erscheinen; die von ihm gegebene Erklärung dieses Vorganges ist sehr einfach und genügt allen Umständen des Phänomens.

Nicht so leicht wird es sein, das Verfahren zu erklären, welches ich angeben werde, um die Zahl der sichtbaren Ringe sehr beträchtlich zu vermehren, weil es dazu nur erforderlich ist, sie durch ein von parallelen Flächen begrenztes Mittel gehen zu lassen. Newton's Methode vermehrt die Zahl der Ringe nur in der Richtung des brechenden Winkels des Prismas; die von mir zu beschreibende macht sie in allen Richtungen gleich gut begrenzt, gleichsam als ob es in jedem Azimut ein besonderes Prisma gäbe, welches die von Newton beobachtete Erscheinung hervorrüfe.

Mittelst eines achromatisirten Doppelspathprismas betrachte ich unter einem Winkel von ungefähr 35° die farbigen Ringe, welche den Berührungspunkt zweier auf einander gelegten Linsen umgeben, und drehe das Prisma, bis nur ein einziges System von Ringen sichtbar bleibt. Darauf schalte ich zwischen die Linsen und das Prisma eine senkrecht auf die Kanten des sechsseitigen Prismas geschnittene Bergkrystallplatte mit parallelen Flächen ein; dann werden beide Systeme von Ringen sichtbar, welches auch die Lage des eingeschalteten Krystalls sein mag, vorausgesetzt, daß die Strahlen jene Flächen fast senkrecht treffen.

Mit bloßem Auge oder durch den Kalkspath bemerkt man nur sechs deutliche Ringe; nach Einschaltung der Krystallplatte bleiben eben diese sechs Ringe in jedem Systeme in gleicher Weise sichtbar, erscheinen aber von zahlreichen Ringen umgeben, die schmäler sind, größere Durchmesser besitzen und mit den ersten denselben Mittelpunkt gemeinschaftlich haben. Diese neue Reihe von Ringen will ich mit dem Namen der supplementären bezeichnen, und noch hervorheben, daß bei der Betrachtung mit bloßen Augen die Einschaltung der Krystallplatte in keiner Weise die Anzahl der sichtbaren Ringe vermehrt.

Läßt man den eingeschalteten Krystall kleine Schwankungen um die senkrechte Lage machen, so sieht man die Reihe der supplementären Ringe nach allen Richtungen an Größe zunehmen; die an einander

grenzenden drängen ſich zuſammen und verſchwinden endlich vollſtändig; es iſt aber merkwürdig, daß ſie nur ſtückweiſe verſchwinden. Stets verſchieben ſich die ſupplementären Ringe auf der Seite, wo die erweiterte Kryſtallfläche die Glaslinſen treffen würde, zuerſt und mit größter Geſchwindigkeit; der diametral gegenüber liegende Theil wird von dieſer Bewegung zuletzt afficirt. Beide Reihen von Ringen haben alſo bei ſenkrechten Incidenzen denſelben Mittelpunkt; ſobald aber die Kryſtallplatte verrückt wird, findet dies nicht mehr ſtatt, weil der Theil, gegen welchen ſie ſich neigt, ſich früher und ſchneller vergrößert als der andere, während die Hauptreihe unbeweglich iſt.

Aus dem Vorſtehenden und aus dem, was ich bei einer andern Veranlaſſung berichtet habe, ergibt ſich, daß wenn man unter angemeſſener Neigung durch ein Kalkſpathrhomboeder und durch die gegenüberliegenden Flächen eines Bergkryſtalles nach farbigen Ringen blickt, man wahrnimmt:

1) Zwei Hauptreihen von Ringen, die aus der im Innern des Kalkſpathrhomboeders erfolgenden Zerlegung der polariſirten Lichtſtrahlen, welche die mit bloßen Augen geſehenen Ringe bilden und durch die Bergkryſtallplatte depolariſirt worden ſind, in zwei Bündel hervorgehen.

2) Zwei ſupplementäre Reihen, deren Lagen bis auf einen gewiſſen Punkt mit denen des eingeſchalteten Kryſtalles zuſammenhängen, und die offenbar nur durch die zwiſchen den verſchiedenen materiellen Blättchen des Kryſtalles befindlichen Zwiſchenräume hervorgebracht ſein können.

3) Endlich zwei Reihen von Ringen, welche im Innern des Kryſtalles ſelbſt durch das weiße polariſirte Licht erzeugt werden, welches die verſchiedenen Oberflächen der Linſen reflectiren.

Uebrigens ſcheinen dieſe Eigenſchaften ausſchließlich den auf der Are des ſechsſeitigen Prismas ſenkrechten Querſchnitten zuzukommen; denn ein in zwei entgegengeſetzten Richtungen geſchliffenes Stück Bergkryſtall zeigte die beſchriebenen Erſcheinungen nur ſenkrecht gegen dieſe Are, obgleich in beiden Fällen die Strahlen durch dieſelben materiellen Molecüle hindurchgehen mußten. Man beobachtet übrigens völlig analoge Re-

ſultate, wenn man Glimmer- oder Gypsblättchen zwiſchen die Linſen und das Rhomboeder von isländiſchem Doppelſpathe bringt.

Da einigen Phyſikern die Verſuche über die Strahlen mit gefärbten Aren, welche ich im Laufe des vorigen Jahres der Klaſſe vorlegte, wichtig genug erſchienen ſind, um den Beſitz von Apparaten, durch welche man dieſelben in öffentlichen Vorleſungen wiederholen könnte, wünſchenswerth zu machen, ſo habe ich durch mehrere Mechaniker ein kleines Inſtrument anfertigen laſſen, das nur eine Modification desjenigen iſt, deſſen ſich Malus bei der einfachen Polariſation bediente, und das ſich mit gleicher Bequemlichkeit zu dieſen beiden Arten von Beobachtungen benutzen läßt. Die ſenkrecht auf die Kanten des ſechsſeitigen Prismas geſchnittenen Bergkryſtallplatten bilden den hauptſächlichſten zu jenem Inſtrumente hinzugefügten Theil. Um nun denjenigen Perſonen, welche ſie ſchleifen, das langweilige Probiren zur Ermittelung der für die Erzeugung des Phänomens paſſendſten Dicken zu erſparen, habe ich mich ſelbſt mit dieſer Unterſuchung beſchäftigt; ich habe aber gefunden, daß dieſe Dicken zwiſchen ſehr ausgedehnten Grenzen ſchwanken können, ohne daß die in verſchiedenen Richtungen depolariſirten Farben ſehr lebhaft zu ſein aufhören: das Blättchen, oder beſſer geſagt die Platte, die ich zu den in meiner Abhandlung von 1811 ausführlich mitgetheilten Verſuchen benutzte, hatte 6 Millimeter Dicke (S. 45). Gegenwärtig ſtehen mir Kryſtallſtücke zur Verfügung, die 2 und ſelbſt 3 Centimeter Dicke beſitzen, und mit denen man gleichfalls ſehr deutliche Farben wahrnimmt. Beſonders das eine von ihnen, deſſen Dicke 18 Millimeter beträgt, zeigt die Phänomene der farbigen Polariſation eben ſo intenſiv als die erſte dünne Platte, deren ich mich bedient hatte.

Es intereſſirte mich zu unterſuchen, ob man nicht durch Anwendung ſo dicker Bergkryſtalle ebenſo wie mit dünnern Platten, die Zahl der gefärbten durch ein Kalkſpathrhomboeder wahrnehmbaren Ringe vermehren würde. Als ich eine Platte von mehr als 3 Centimeter Dicke einſchaltete, beobachtete ich alle jene Erſcheinungen, deren Beſchreibung ich weiter oben gegeben habe. Wenn ich nach kreisrunden farbigen Ringen blickte, ſo waren diejenigen, welche anfangs mit bloßen Augen ſichtbar waren, nach Einſchaltung des Kryſtalles

von neuen Ringen umgeben, welche denſelben Mittelpunkt wie die erſten hatten. Waren dieſe letztern elliptiſch, ſo zeigte die ſupplementäre Ringreihe, welche durch die Einſchaltung des Bergkryſtalles hervorgerufen wurde, ebenfalls eine elliptiſche Geſtalt; außerdem aber zeigte ſich eine Reihe von Ringen, die durch das von den Linſen reflectirte weiße Licht gebildet war, und die ſehr ſchnell ihren Ort änderten, wenn man den Kryſtall bewegte. Dieſe Reihe kann aus großer Nähe beobachtet werden, indem man z. B. das Auge drei Centimeter von der Oberfläche der Platte ſtellt. In dieſer Stellung kann man einen gleichfarbigen Streifen wahrnehmen, der von einem Rande des Kryſtalles zum entgegengeſetzten läuft, und ſich folglich über eine Ausdehnung von 3 bis 4 Centimeter erſtreckt; die Strahlen aber, welche zu den verſchiedenen Punkten dieſes gefärbten Streifens gehören, durchdringen augenſcheinlich ſehr ungleiche Dicken der Materie des Kryſtalles, ohne daß dadurch die depolariſirte Farbe ihre Beſchaffenheit ändert.

Vierte Abhandlung über mehrere neue optiſche Phänomene,

geleſen am 28. December 1812

in der mathematiſch-phyſiſchen Klaſſe des kaiſerlichen Inſtituts von Frankreich.*)

In der Erklärung, welche Newton von den Farben der Körper in der Natur gegeben hat, iſt von ihm angenommen worden, daß die materiellen Molecüle durch abſolut leere oder wenigſtens mit einer äußerſt dünnen Flüſſigkeit angefüllte Zwiſchenräume von einander getrennt ſeien. Ich erwartete hiernach zu finden, daß die Strahlen, welche die Körper ſichtbar machen, ſehr nahe unter demſelben Winkel polariſirt ſein würden, als das Licht, welches ihre erſte Oberfläche zurückwirft, wenigſtens in dem Falle, wo die einfallenden Strahlen nur von einem einzigen Punkte ausgingen. Der Verſuch hat indeß gelehrt, daß diejenigen Lichtſtrahlen, welche die eigenthümliche Farbe eines Körpers bilden, in keiner Weiſe die Eigenſchaften des durch Reflexion polariſirten Lichtes darbieten. Zur Ausführung dieſer Beobachtung habe ich bisweilen vollkommen polirte Porcellanplatten benutzt. Ich blickte nach einer entfernten Flamme und ſtellte mich unter ſolcher Neigung auf, daß die reflectirten Strahlen vollſtändig polariſirt waren; eine geringe, dem Porcellan ertheilte Bewegung änderte die Richtung des reflectirten Lichtbündels hinreichend, ſo daß ich nur noch die beiden Bilder des Spiegels ſah. Da ich dem Winkel der voll-

*) Dieſe Abhandlung iſt noch nicht gedruckt worden; jedes Blatt des Manuſcripts iſt von Delambre, als damaligem beſtändigen Secretär der Klaſſe unterzeichnet worden. — Die drei erſten Abhandlungen ſtehen oben S. 3, 31 und 68.

ſtändigen Polariſation äußerſt nahe war, ſo glaubte ich, daß dieſe beiden Bilder ſehr ungleiche Intenſitäten haben würden; indeß, obgleich ich bei dieſen Verſuchen zur Analyſe des Lichtes, das alſo aus dem Innern des Porcellans kam, die bei einer andern Veranlaſſung*) beſchriebenen Mittel anwandte, hat es mir doch geſchienen, als ob dies Licht durchaus nicht modificirt wäre. Man würde anfänglich glauben können, daß zur Annahme des polariſirten Zuſtandes von Seiten der Strahlen erfordert werde, daß die Fläche, auf welche ſie fallen, polirt ſei und eine gewiſſe Ausdehnung beſitze; dieſe beiden Bedingungen ſind aber für die erſte Oberfläche erfüllt. Ueberdies habe ich gezeigt, daß das atmoſphäriſche Licht polariſirt iſt, und hier hat doch jeder Strahl nur von der Oberfläche eines einzigen Luftmolecüles zurückgeworfen werden können.

Im allgemeinen ſieht man, daß in der zuvor bezeichneten Lage die Strahlen, welche von dem leuchtenden Punkte nach einer einzigen Reflexion zum Auge gelangen, die materiellen Molecüle des Körpers unter dem Winkel treffen, welcher ihrer Polariſation entſpricht, und daß ſie dieſe Modification erlitten haben ſollten. Streng genommen wäre es möglich, daß der größte Theil des Lichtes nur erſt nach mehreren Reflexionen auf den verſchieden geneigten Facetten, woraus man den Körper gebildet annehmen kann, das Auge erreichte. Indeß ohne von anderen Einwendungen zu reden, welche ſich gegen eine ſolche Hypotheſe machen laſſen, ſieht man, daß ein ſolcher Körper vollſtändig die Lichtſtrahlen, welche ihn durchdringen, polariſiren würde, was nicht der Fall iſt. Um übrigens dieſen Verſuch auf eine entſcheidende Weiſe anzuſtellen, wird es genügen, den Körper mittelſt eines bereits polariſirten Lichtbündels zu beleuchten. Als ich wenig intenſive Strahlen anwandte, nahm ich dieſelben Erſcheinungen, wie im directen Lichte, wahr; ich halte es aber für zweckmäßiger, ein lebhafteres Licht anzuwenden, und aus dieſem Grunde will ich mich jetzt auf keine Einzelheiten bezüglich der merkwürdigen Folgerung, zu welcher dieſer Verſuch zu führen ſcheint, einlaſſen.**)

*) Siehe oben S. 11 und 12.

**) Vergl. zwei Stellen, die ſich auf die Polariſation durch Brechung in dem

Die Depolariſation der Strahlen kann unter gewiſſen Umſtänden auch dienen, um eine wegen ihres ſehr engen Zuſammenhanges mit der Newton'ſchen Theorie höchſt intereſſante Frage zu löſen. Wie bekannt, tritt nämlich nach dieſer Theorie das Licht, welches auf der untern Fläche eines Körpers von größerer Dichtigkeit, als das umgebende Mittel, total reflectirt wird, aus dem Körper heraus. Geſetzt nun, man bringe unter die reflectirende Fläche einen doppeltbrechenden Kryſtall, und ſtelle die vollſtändige Berührung zwiſchen beiden mittelſt eines ſtärker brechenden Mittels, als der untere Kryſtall, z. B. mittelſt einiger Tropfen Tolubalſam her. Wenn das angewandte Licht nicht polariſirt iſt, ſo wird es ſich bei ſeinem Eintritte in den untern Kryſtall in zwei in entgegengeſetztem Sinne polariſirte Bündel zerlegen, die folglich bei ihrem Durchgange durch ein Kalkſpathrhomboeder gerade wie das gewöhnliche Licht zwei Bilder von gleicher Intenſität liefern, ſo daß alſo dieſe Beobachtung zu keinem weitern Reſultate führt; wenn aber das einfallende Bündel bereits polariſirt war, und man es nach ſeiner totalen Reflexion depolariſirt findet, ſo wird daraus folgen, daß es in den untern Kryſtall eingedrungen iſt. Im Fall aber der Strahl für alle Lagen dieſes Kryſtalles nach der totalen Reflexion polariſirt bliebe, würde man daraus ſchließen müſſen, daß er aus dem Körper nicht heraustritt, oder wenigſtens in den doppeltbrechenden Kryſtall nur bis auf eine derjenigen äußerſt kleinen Dicken eindringt, bei welchen nach meinen frühern Verſuchen dieſe Kryſtalle ſich wie Platten von gewöhnlichem Glaſe verhalten.

In dem Theile meiner vorhergehenden Abhandlung, der ſich auf die Farben oder die Ringe, welche man in doppeltbrechenden Kryſtallen wahrnimmt, bezog, habe ich mich bemüht, zu beweiſen, daß in der Mehrzahl der Erſcheinungen dieſe Kryſtalle ſich verhalten, als ob die Blättchen, aus denen ſie beſtehen, von einander getrennt wären: beſonders habe ich das Beiſpiel vom Schwerſpath*) hervorgehoben, und gezeigt, daß man beim Betrachten einer polariſirtes Licht reflectirenden

---

Lichte, welches die Körper ſichtbar macht, beziehen, in Bd. 7 (Aufſatz über die Polariſation des Lichtes Kap. 14, §. 5, und Anhang dazu IV).

*) Siehe oben S. 70.

Platte durch gewiſſe Flächen jener Subſtanz dieſelbe entweder ſchwachgelblich weiß oder violettroth, nach jeder Viertelumdrehung des Kryſtalles, erblickt. Wenn das von der Platte reflectirte Licht in entgegengeſetztem Sinne als zuvor polariſirt wäre, ſo würde man ſie roth in der Stellung des Kryſtalles ſehen, wo ſie vorhin gelb erſchien und umgekehrt. Es folgt daraus, daß ein directes durch einen Schwerſpathkryſtall geſehenes Lichtbündel in allen Lagen des Kryſtalles ſtets dieſelbe Färbung behält, weil die beiden Bündel, in welche ſich das Licht beim Durchgange durch denſelben ſpaltet, entgegengeſetzte Modificationen erleiden. Auch findet man, wenn man dieſes Licht mittelſt eines zweiten doppeltbrechenden Kryſtalles zerlegt, daß die beiden Bündel complementäre Farben beſitzen.

Die in meiner Abhandlung vom 11. Auguſt 1811 angeführten Verſuche waren zum größten Theile mittelſt einer ſenkrecht auf die Kanten des ſechsſeitigen Prismas geſchnittenen Bergkryſtallplatte angeſtellt worden. Dieſelbe änderte die polariſirten Strahlen nur in wenig von der ſenkrechten Richtung entfernten Incidenzen in farbige Strahlen um.*) Unter etwas ſchiefen Neigungen erlitt das Licht in dem Kryſtalle keine Modification, welche Lage er übrigens auch haben mochte, vorausgeſetzt, daß ſeine Flächen auf der Reflexionsebene ſenkrecht blieben. Man würde hiernach haben glauben können, daß die Platte beim Drehen um den Strahl ſich wie eine einfache Platte von Spiegelglas verhalten würde; indeß zerlegten ſich in den Lagen, wo dieſe Glasplatte nur ſehr wenig Licht depolariſiren würde, die Strahlen, welche durch die Bergkryſtallplatte gingen, in zwei Bündel von gleicher Intenſität, ſo daß dieſe letztere Platte ſich verhält, wie eine Säule aus Glasplatten, die mit einander nicht vollſtändig im Contacte ſind. Ich habe dies Reſultat in der citirten Abhandlung ausgeſprochen, und erwähne es hier nur, um die Verſuche, welche mir zu beweiſen ſcheinen, daß das Phänomen der partiellen Reflexion zwiſchen den verſchiedenen die Kryſtalle bildenden Blättchen ſtatt finden kann, unter einen und denſelben Geſichtspunkt zu bringen.

*) Siehe oben S. 48.

ſollen, dergeſtalt ein, daß der von dem Glasſpiegel reflectirte Strahl ihn durchdringt, bevor er auf das Rhomboeder fällt. Wenn nun der Hauptſchnitt des eingeſchalteten Körpers auf der Einfallsebene ſenkrecht ſteht, ſo wird der reflectirte Strahl beim Durchgange durch denſelben blos einen unregelmäßigen Strahl geben; da nun in beiden Kryſtallen die Hauptſchnitte parallel liegen, ſo wird der unregelmäßige Strahl des erſten Kryſtalles auch im zweiten unregelmäßig gebrochen, ſo daß man vor und nach dem Einſchalten des Körpers daſſelbe Bild ſieht.

Es ſei zweitens der Hauptſchnitt des eingeſchalteten Körpers mit der Einfallsebene parallel; dann wird der zurückgeworfene Strahl in dieſem Körper regelmäßig gebrochen, erleidet dagegen die unregelmäßige Brechung beim Durchgange durch den zweiten Kryſtall, deſſen Hauptſchnitt auf dem des erſten ſenkrecht ſteht, ſo daß man daſſelbe Bild wie im vorigen Falle erblickt.

Endlich bilde drittens der Hauptſchnitt des eingeſchalteten Körpers einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene. Der vom Spiegel reflectirte Strahl gibt in dieſem Falle zwei Strahlen, einen regelmäßigen und einen unregelmäßigen, beide von gleicher Intenſität und denſelben Weg verfolgend, weil der Annahme zufolge der Körper ſehr dünn iſt. Wie dem auch ſein möge, jeder dieſer Strahlen liefert nun bei ſeinem Durchgange durch den zweiten Kryſtall zwei gleich intenſive Bilder, und da dieſelben zu je zwei faſt genau denſelben Weg verfolgen, ſo vereinigen ſich die vier Strahlen in zwei gleich ſtarke Bündel, die gleichzeitig ein regelmäßiges und ein unregelmäßiges Bild geben. Ueberdieß iſt klar, daß in allen andern Lagen des eingeſchalteten Körpers das unregelmäßige Bild lebhafter ſein wird als das regelmäßige, und dies um ſo mehr, je näher man den Lagen kommt, wo dieſes letzte Bild vollſtändig verſchwindet.

Wenn der Hauptſchnitt des Kalkſpathrhomboeders in der Reflexionsebene läge, ſo würde der reflectirte Strahl nur ein regelmäßiges Bild geben. Nach Einſchaltung des dünnen Körpers würde man dieſes Bild wahrnehmen, entweder allein, oder begleitet von einem unregelmäßigen Bilde, das unter den günſtigſten Umſtänden eben ſo

hell wie das erſte ſein kann, aber in vier auf einander ſenkrechten Lagen des eingeſchalteten Körpers verſchwindet.

Auf dieſe Weiſe überzeugte ich mich, daß der Glimmer, welcher bis dahin von den Mineralogen nicht den mit Doppelbrechung begabten Körpern beigezählt worden war, dieſe Eigenſchaft beſitzt. Indeß machte ich darauf aufmerkſam, daß dies Verfahren nur dann völlig einwurfsfrei ſei, wenn man es zur Beſtimmung der Aren eines Körpers anwendet, weil unter gewiſſen Umſtänden die Strahlen beim Durchgange durch den eingeſchalteten Körper depolariſirt werden können, obgleich derſelbe die Eigenſchaft, doppelte Bilder zu erzeugen, nicht beſitzt.*) Der Glimmer ſelbſt bietet unter gewiſſen Umſtänden ſehr merkwürdige Erſcheinungen dar, auf welche ich indeß in meinen frühern Abhandlungen aus dem Grunde mich nicht weiter eingelaſſen habe, weil ich damals mehr beabſichtigte darzulegen, wodurch ſich die Strahlen mit gefärbten Aren von den Strahlen mit weißen Aren unterſcheiden, als zu zeigen, welche Kräfte, oder beſſer geſagt, welche Anordnung der Blättchen ſie in den Kryſtallen antreffen müſſen, damit die Aren der verſchiedenfarbigen Molecüle, woraus ein weißes polariſirtes Lichtbündel beſteht, aus ihrem Parallelismus gebracht werden. Ein Glimmerblättchen depolariſirt die Lichtſtrahlen nicht, wenn der Hauptſchnitt ſenkrecht oder parallel zu der Ebene iſt, in welcher die Strahlen anfänglich polariſirt waren, und verhält ſich hierin wie alle doppeltbrechenden Körper; ſoll indeß die Analogie vollſtändig ſein, ſo wird noch weiter erfordert, daß dieſelben Strahlen beim Durchgange durch einen Kryſtall, der zuvor nur ein Bild zeigte, blos dadurch, daß der Hauptſchnitt des eingeſchalteten Blättchens, der erſt in der Polariſationsebene lag, jetzt gegen letztern um 45° geneigt wird, ſich in zwei Bündel von gleicher Intenſität theilen. Die Gleichheit in der Intenſität kann beim Glimmer nicht erkannt werden, weil bei den Lagen, um die es ſich handelt, die beiden Bilder, wie ich anderswo gezeigt habe, lebhaft gefärbt ſind, und unähnliche farbige Lichtſtrahlen in jener Beziehung ſich nicht vergleichen laſſen.

*) Siehe oben S. 41 u. 52.

Dieser Versuch stellt übrigens mehr eine Modification als eine Ausnahme von den Gesetzen der Doppelbrechung dar. Außerdem hatte ich bemerkt, daß das secundäre Bild allmälich an Intensität verliert, und zuletzt vollständig verschwindet, wenn das eingeschaltete Blättchen immer dünner und dünner wird, gleichsam als ob es nach und nach die Eigenschaft die Strahlen zu depolarisiren verlöre. Seitdem habe ich nun ziemlich dicke Glimmerblättchen angetroffen, die in gewissen Lagen das gerade entgegengesetzte Phänomen erzeugen. Wenn man sie nämlich denselben Prüfungen, wie die gewöhnlichen Blättchen, unterwirft, so findet man zuerst, daß sie eben so wie diese zwei auf einander senkrechte Hauptschnitte besitzen, in denen sie die Strahlen nicht polarisiren, und ferner zwei andere Schnitte, die mit den so eben genannten Winkel von 45° bilden, in welchen die Strahlen im entgegengesetzten Sinne wieder polarisirt zu werden scheinen. So z. B. wenn die Lage des angewandten Kalkspathkrystalles eine solche war, daß man ursprünglich nur das regelmäßige Bild sah, erblickte man umgekehrt nur das unregelmäßige Bild, wenn der Hauptschnitt der eingeschalteten Platte um 45° in Bezug auf den des Kalkspathrhomboeders geneigt war. Man würde sich nach diesem Versuche zu der Annahme berechtigt halten können, daß die in Rede stehenden Blättchen eine von derjenigen Doppelbrechung, deren Gesetze so ausführlich beim Kalkspathe erforscht worden sind, verschiedene Art von Brechung besäßen; ohne uns aber bei dieser sehr ungewöhnlichen Voraussetzung aufzuhalten, wird es zur Erklärung des Verschwindens des Hauptbildes und aller analogen Phänomene genügen, anzunehmen, daß die Zwischenräume der verschiedenen in der Glimmerscheibe über einander liegenden Blättchen so beschaffen seien, daß z. B. allein die violetten Strahlen hindurchdringen könnten, während alle andern sich nach dem Newton'schen Ausdrucke in Anwandlungen zur leichtern Zurückwerfung befänden. Indem die Strahlen, welche das andere Bild erzeugen, eben diese Intervalle infolge der Spaltung, welche das Licht beim Eintritte in diesen Krystall erlitten hat, unter einem andern Winkel durchdringen, werden sie sich offenbar nicht unter denselben Verhältnissen befinden können. Man begreift außerdem, daß, wenn diese Art, das Phänomen zu betrachten, richtig ist, das Bild nicht

unter allen Neigungen der Platte wird verschwinden dürfen, und ich habe mich in der That überzeugt, daß es, obgleich der Hauptschnitt des Glimmers in Bezug auf die Polarisationsebene ungeändert blieb, hinreichte, das Blättchen gegen die polarisirten Strahlen zu neigen, um successive das regelmäßige und unregelmäßige Bild zum Verschwinden zu bringen. Ich darf indeß nicht vergessen beizufügen, daß in den eigenthümlichen Lagen des Blättchens, um die es sich hier handelt, das Verschwinden eines beliebigen der Bündel nur vollständig eintritt, wenn man nach einem wenig intensiv leuchtenden Objecte visirt; als ich die Flamme einer Kerze anwandte, und sie aus großer Nähe untersuchte, habe ich mich überzeugen können, daß das Bild, welches vollständig zu verschwinden schien, in Wirklichkeit von einigen sehr wenig intensiven violetten Strahlen gebildet wird.

Man wird sich vielleicht wundern, mich die Annahme machen zu sehen, daß das System einer kleinen Zahl dünner getrennter Blättchen fähig sein soll, das Licht vollständig aufzuhalten, welches sie mit so großer Leichtigkeit durchdrungen haben würde, falls sie in Berührung oder selbst durch merkliche Zwischenräume von einander geschieden gewesen wären. Newton's Versuche haben allerdings gezeigt, daß ein dünner Körper die Strahlen einer gewissen Gattung zu reflectiren vermag, während er umgekehrt den complementär gefärbten Molecülen einen freien Durchgang gewährt; nach seinem Beobachtungsverfahren ist es aber sehr schwierig, sich eine bestimmte Vorstellung von der zurückwerfenden Kraft dieser verschiedenen Blättchen zu machen, weil man nur mit schwachem Lichte operiren kann, und wegen der schnellen Zunahme in der Dicke der Luftschicht in geringem Abstande vom Mittelpunkte gemischte und nur sehr kleine Winkel umspannende Farben erhält. Wenn es gelänge, zwei Plangläser in ihrer ganzen Ausdehnung bis auf eine Größe zu nähern, die mit derjenigen vergleichbar wäre, welche zwei Linsen in der Nähe ihres Berührungspunktes trennt, so würde die Luftschicht in allen ihren Punkten dieselbe Farbe zerlegen, und man vermöchte dann Bilder zu beobachten, welche durch dieselbe Kraft gefärbt wären, welche die Ringe erzeugt; ein solcher Apparat, wie ich ihn eben angedeutet habe, ist aber äußerst schwierig herzustellen, denn die beiden Ebenen können nur dann so weit genähert werden,

daß sie die Farben der ersten Ordnung geben, wenn man eine sehr beträchtliche Kraft anwendet; diese Kraft krümmt aber die Gläser und man sieht dann Ringe, eben so als wenn man Linsengläser auf einander gelegt hätte. Unabhängig von der Anwendung, die ich von diesem Versuche auf den erwähnten Fall der Depolarisation des Lichtes im Glimmer zu machen beabsichtigte, ließ ich mir es um so mehr angelegen sein, ein Mittel zu finden, denselben ins Werk zu setzen, als einige Physiker, durch ungenaue Erklärung des Phänomens der Ringe verleitet, ausgesprochen hatten, daß das Bild einer Kerze nicht zerlegt würde, wie das zerstreute Licht der Atmosphäre. Ich erinnerte mich, daß man bereits beobachtet hatte, daß die Bilder, welche sich in den Sprüngen des isländischen Doppelspathes bilden, lebhaft gefärbt sind. Es gelang mir, einen Krystall von dieser Substanz zu erhalten, der sehr rein war, dabei aber einen sehr regelmäßigen Sprung zeigte; ich ließ ihn dergestalt schneiden, daß die äußere Fläche stark gegen den Sprung geneigt war. Jedes der Bündel, in welche sich das Licht bei seinem Eintritte in den Krystall zerlegt, erleidet eine zweite Doppelbrechung beim Durchgange durch das dünne Blättchen, so daß man beim Austritte vier deutlich getrennte Bilder hat, in welchen die verschiedenen Farben gesondert sind und Spectra bilden; aber gerade ihrer gegenseitigen Neigung wegen durchlaufen diese Strahlen den zwischen den beiden Oberflächen, welche den Sprung einschließen, befindlichen Raum nach ungleichen Linien, und müssen sich folglich successive in Anwandlungen zur leichtern Zurückwerfung finden; auch setzt sich z. B. das Spectrum eines der unregelmäßigen Bündel, anstatt wie die gewöhnlichen prismatischen Spectra aus einer Reihe an einander grenzender Farben zu bestehen, aus mehrern farbigen und durch dunkle Zwischenräume von einander getrennten farbigen Streifen zusammen. So ist in einer gewissen Stellung dies Spectrum gebildet aus einem rothen Bilde, einem dunklen Zwischenraume, einem grünen Bilde, welchem ein anderes lichtleeres Intervall folgt, an das sich dann ein violettes Bild anschließt. Bewegt man das Prisma etwas, so wird die Neigung, unter welcher die Lichtstrahlen das Blättchen durchdringen, geändert; die rothen Strahlen werden dann z. B. vollständig reflectirt, und das Spectrum besteht allein aus den andern Farben, die selbst

durch dunkle, ſehr breite Intervalle getrennt ſind. Setzt man die Bewegung des Kryſtalles in derſelben Richtung fort, ſo wird bald der rothe Theil des Spectrums wieder erſcheinen, während mehrere der Farben, die in der vorhergehenden Lage ſichtbar waren, verſchwinden. In allen dieſen Fällen iſt das Bild einer Kerze dem Spectrum ähnlich, das man wahrnimmt, wenn man dieſes Bild mit einem Prisma zerlegt, nachdem man es zuvor hat durch ein blaues Glas gehen laſſen, ſo daß die Abſorption bei dieſer letzteren Anordnung auf die durchgelaſſenen Strahlen dieſelbe Wirkung ausübt, als das Vorhandenſein des Blättchens. Wie dem auch ſein möge, aus dieſem Verſuche folgt, daß ein in paſſender Stellung angebrachter ſehr dünner Körper ſämmtliche Strahlen der rothen oder jeder andern Farbe, die in ein weißes ſehr intenſives Lichtbündel eintreten, zurückzuwerfen vermag, was zu beweiſen mein Zweck war. Ich will dieſe Abhandlung mit dem Berichte über einige auf die Doppelbrechung ſehr dünner Körper ſich beziehende Verſuche ſchließen.

Früher*) habe ich bereits gezeigt, daß das partiell reflectirte Licht allein zur Bildung der farbigen Ringe beiträgt; dann iſt aber einleuchtend, daß, wenn man das einfallende Bündel in Bezug auf die zwei Linſen in diejenige Lage bringt, wo kein Strahl zurückgeworfen wird, man weder die durch Reflexion noch die durch Brechung erzeugten Ringe ſehen darf. Unter den verſchiedenen Verfahrungsweiſen, die man anwenden kann, um die Richtigkeit dieſes Reſultats zu beſtätigen, erfordert die folgende die einfachſte Vorrichtung.

Man lege eine Glaslinſe auf eine Linſe oder überhaupt auf irgend eine etwas dicke Platte von Doppelſpath. Liegt der Kalkſpath unten, ſo wird man Ringe ſehen, welche unter allen Neigungen mit denjenigen identiſch ſind, die man um den Berührungspunkt zweier Linſen aus gewöhnlichem Glaſe erblickt, weil die kryſtalliſirten Körper den an ihren erſten Oberflächen zurückgeworfenen Lichtſtrahlen keine neue Modification ertheilen. Wird der Apparat umgekehrt, ſo gehen die Lichtſtrahlen durch den Doppelſpathkryſtall, bevor ſie auf die zweite Linſe fallen, und man wird zwei Syſteme von Ringen wahrnehmen,

*) S. 17 u. 63 dieſes Bandes.

welche die beiden Bündel erzeugen, in welche ſich das einfallende Licht theilt.

Unterſucht man nun dieſe beiden Ringſyſteme unter einer Neigung von ungefähr 35°, indem man die Linſen eine volle Umdrehung um ihr gemeinſchaftliches Centrum machen läßt, ſo verſchwindet jedes Syſtem zwei Mal. In den beiden diametral entgegengeſetzten Lagen der Kalkſpathlinſe nämlich, in welchen ihr Hauptſchnitt auf der Reflexionsebene ſenkrecht iſt, ſieht man nur das Ringſyſtem, das von dem unregelmäßig gebrochenen Lichte herrührt, während dagegen blos die Ringe, welche durch die regelmäßig gebrochenen Strahlen entſtehen, unter ſonſt gleichen Umſtänden wie zuvor ſichtbar ſind, wenn der Hauptſchnitt des Kalkſpaths der Reflexionsebene parallel liegt. Uebrigens tritt dieſes Verſchwinden der Ringe nicht plötzlich ein, ſondern jedes Syſtem wird um ſo ſchwächer, je mehr man ſich der Lage und der Incidenz nähert, unter welcher ein vollſtändiges Verſchwinden ſtattfindet. Man wird ferner bemerken, daß, wenn der Hauptſchnitt der Kalkſpathlinſe einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene macht, beide Ringſyſteme gleiche Intenſität beſitzen.

Unterſucht man die durchgelaſſenen Ringe unter paſſender Neigung, ſo gewahrt man ganz analoge Phänomene, wie die eben beſchriebenen. Es iſt übrigens leicht zu ſehen, daß in dieſen beiden Fällen das abwechſelnde allmäliche Verſchwinden der Ringe davon abhängt, daß bei jeder Vierteldrehung der Kalkſpathlinſe eines der beiden von ihr erzeugten Bündel ſich in derjenigen Lage befindet, wo es der partiellen Reflexion entgehen muß.

Erſetzen wir jetzt die Kalkſpathlinſe durch eine Bergkryſtallplatte mit parallelen Flächen, ſo werden wir finden, daß das regelmäßige und das unregelmäßige Bündel, weil beide faſt genau denſelben Weg verfolgen, nur ein Ringſyſtem geben, zu deſſen Bildung gleichzeitig beide Arten von Strahlen beitragen, wodurch daſſelbe in allen Lagen des Apparates und unter allen Neigungen ſichtbar bleibt.

Man wird ſich erinnern, daß, wenn die farbigen Ringe, welche den Berührungspunkt zweier gewöhnlichen Glaslinſen umgeben, mit-

telſt eines Kalkſpathprismas unterſucht werden, nur ein Bild*) erſcheint, ſobald die Strahlen, welche ſie bilden, unter einem Winkel von ungefähr 35° reflectirt werden, und außerdem der Hauptſchnitt des Prismas zu der Reflexionsebene derſelben parallel oder ſenkrecht liegt.

Wendet man daſſelbe Verfahren zur Analyſe desjenigen Lichtes an, aus welchem die farbigen Ringe in dem Apparate, worin der Bergkryſtall ſich befindet, gebildet werden, ſo iſt, wenn nur ein Ringſyſtem ſichtbar ſein ſoll, außer den zuvor angeführten Bedingungen noch erforderlich, daß der Hauptſchnitt des Bergkryſtalls ſenkrecht oder parallel zur Reflexionsebene, oder was auf daſſelbe hinausläuft, zu dem Hauptſchnitte des Kalkſpathprismas ſei, das man zur Beobachtung der Ringe benutzt. Geſetzt man gehe von der Lage aus, in welcher der Hauptſchnitt des Kryſtalles mit der Reflexionsebene parallel iſt, in welchem Falle durch das Prisma nur das regelmäßige Bild erſcheint, und man beginne die Linſe zu drehen. Nach einer Achteldrehung, von der erſten Lage aus gerechnet, zeigt das Prisma zwei Ringſyſteme, welche gleiche Intenſität beſitzen. Bei fortgeſetzter Drehung der Linſe wird das neue Bild ſchwächer und verſchwindet vollſtändig, wenn der Hauptſchnitt dieſer Linſe zur Reflexionsebene ſenkrecht iſt. Denn in dem erſten Falle ſind die Ringe, welche man mit bloßen Augen bemerkt, auf Koſten der regelmäßigen Strahlen gebildet, und dieſe Strahlen geben bekanntlich bei ihrem Durchgange durch ein in paſſender Stellung befindliches Kalkſpathprisma nur ein Bild. Wenn der Hauptſchnitt der Bergkryſtalllinſe einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene bildet, ſo werden die Strahlen der Ringe in zwei verſchieden polariſirte und gleich lebhafte Bilder zerlegt; das wie zuvor geſtellte Kalkſpathprisma muß alſo zwei Bilder von gleicher Intenſität geben. Und wenn endlich der Hauptſchnitt der Linſe auf der Reflexionsebene ſenkrecht ſteht, ſo werden die Ringe nur von dem unregelmäßig gebrochenen Lichtbündel gebildet, und dies Bündel kann bei ſeinem Durchgange durch den Doppelſpath nur ein Bild liefern, das genau daſſelbe ſein wird, wie das im erſten Falle wahrgenommene.

*) S. oben S. 11.

Alle dieſe Reſultate laſſen ſich übrigens Wort für Wort auf die im durchgelaſſenen Lichte entſtehenden Ringe anwenden.

Man erkennt leicht, daß derartige Beobachtungen, wie ich ſie eben angeführt habe, dienen können, um ſowohl das Vorhandenſein als auch die Richtung der Doppelbrechung in den kryſtalliſirten Subſtanzen, welches auch übrigens ihre äußere Form ſein mag, zu beſtimmen. Es läßt ſich leicht vermuthen, daß dies Verfahren auf die Beſtimmung der Brechungsaxe eines ſehr dünnen Glimmerblättchens ſich wird anwenden laſſen. Denn Hauy hat in ſeinem Traité de minéralogie bemerkt, daß dieſe Subſtanz ſo dünn gemacht werden kann, daß ſie die Farben der Ringe zeigt. Man betrachte nun ein ſolches ſehr dünnes gefärbtes Blättchen durch ein Kalkſpathprisma, und man wird bald die Neigung finden, wo die Farben nur in dem einen der Bilder ſichtbar ſind. Wenn das Glimmerblättchen eine Axe der Brechung hätte, ſo iſt nach dem zuvor Geſagten klar, daß man nach einer Drehung des Blättchens von 45° um ſeinen Mittelpunkt das zweite prismatiſche Bild eben ſo lebhaft ſehen müßte als das erſte, obgleich das Auge und das Prisma in ihrer urſprünglichen Stellung geblieben wären, weil die Farben dann durch gleiche Mengen in entgegengeſetztem Sinne polariſirter Strahlen gebildet ſein würden; die Erfahrung lehrt uns aber, daß die ſehr dünnen Glimmerblättchen ſich bei dieſen Phänomenen wie ſehr dünne Blättchen von gewöhnlichem Glaſe verhalten, ſo daß das Verſchwinden eines der gefärbten prismatiſchen Bilder nur von dem Winkel, unter welchem die Lichtſtrahlen von ihrer Oberfläche reflectirt werden, und von der Lage des Hauptſchnittes des zur Beobachtung verwandten Prismas abhängt, dagegen von der Lage des Blättchens in ſeiner eigenen Ebene gänzlich unabhängig iſt.

Dieſer Verſuch führt zu der merkwürdigen Schlußfolgerung, daß es nicht nothwendig iſt, daß die Elemente, woraus ein mit Doppelbrechung begabter Körper beſteht, ſelbſt dieſe Eigenſchaft beſitzen. Schon in meiner Abhandlung vom 11. Auguſt 1811 *) wurde ich zu dieſem Reſultate geführt; ich hatte aber damals ein Beobachtungsverfahren angewandt, welches forderte, daß die Glimmerblättchen eine

*) S. oben S. 41.

gewisse Größe besaßen, während der zuvor beschriebene Versuch auch mit Blättchen von selbst nicht einem Quadratmillimeter Oberfläche angestellt werden kann. Es folgt ferner noch daraus, daß die Doppelbrechung von der Anordnung der Molecüle, aus denen die Körper bestehen, abhängt, was man auch, wenn gleich auf weniger directe Weise, daraus hätte ableiten können, daß manche Flintglasplatten Aren besitzen, während andere aus demselben Hafen stammende Stücke keine Spur derselben zeigen. Bei dieser Gelegenheit will ich auch anführen, daß ich seit meinen ersten Versuchen Glasmassen von St. Gobain gefunden habe, die nicht nur wie alle mit Doppelbrechung begabten Krystalle Aren besitzen, sondern auch außerdem dieselben Eigenschaften wie der Glimmer, Gyps u. s. w. zeigen, weil sie einen gewöhnlichen polarisirten Strahl in einen Strahl mit gefärbten Aren verwandeln.

Im Verlaufe dieser Abhandlung habe ich mehrere Male Veranlassung gehabt, den Versuch*) zu citiren, durch welchen ich früher bewiesen habe, daß die Lichtstrahlen, welche die farbigen Ringe im durchgehenden Lichte bilden, in derselben Weise polarisirt sind, wie diejenigen, welche die reflectirten Ringe erzeugen. Dieser Versuch verdient um so aufmerksamer untersucht zu werden, als er von einer Regel eine Ausnahme macht, die Malus für allgemein hielt, und der gemäß die durchgehenden Strahlen stets in entgegengesetztem Sinne als die reflectirten polarisirt sein sollen. Es scheint sogar, als ob er nicht anders erklärt werden könne, als wenn man sagt, daß die Strahlen, welche die Ringe bilden, bereits vor ihrem Auffallen auf die beiden Linsen, eben so wie die Strahlen, welche reflectirt werden, polarisirt waren.

Im Allgemeinen zeigt uns dies Phänomen der Ringe Strahlen, welche polarisirt sind, ohne reflectirt oder der Wirkung der Kräfte, die ihnen diese Modification einprägen, unterworfen gewesen zu sein. Es interessirte mich folglich zu prüfen, ob nicht die Annahme möglich wäre, daß Strahlen von directem Lichte aus mehreren polarisirten Strahlen beständen. Nun in der That, die Vereinigung zweier gleich intensiver und in entgegengesetztem Sinne polarisirter Strahlen

*) S. oben S. 13.

beſitzt in Bezug auf die Doppelbrechung dieſelben Eigenſchaften, wie die Strahlen des directen Lichtes. Was die zahlreichen von Malus entdeckten Phänomene anlangt, ſo hat es mir geſchienen, als ob dieſelben ſich noch vollſtändiger durch dieſe Vorausſetzung erklären laſſen, als durch die Annahme, daß die Strahlen nur durch irgend eine Kraft, welche die Körper auf ſie ausüben, polariſirt werden.

Geſetzt wir laſſen z. B. zwei in entgegengeſetztem Sinne polariſirte Strahlen auf einen Glasſpiegel unter einer Neigung von ungefähr 35° fallen; und um von einer beſtimmten Vorſtellung auszugehen, wollen wir annehmen, daß der erſte dieſer Strahlen in Bezug auf die Ebene des Meridians und der zweite in Bezug auf eine darauf ſenkrechte Ebene polariſirt ſei.

Wenn die Einfallsebene der Ebene des Meridians parallel iſt, ſo behalten die Molecüle des erſten Bündels, welche auf dem Spiegel zurückgeworfen werden, und eben ſo diejenigen, welche durch ihn hindurchgehen, ihre urſprüngliche Polariſation. Die Strahlen des zweiten Bündels gehen ſämmtlich durch das Glas hindurch. Wenn alſo a die Intenſität eines jeden der Bündel und a' die Zahl der Molecüle im erſten Bündel bezeichnet, welche in der anfänglichen Lage des Spiegels zurückgeworfen werden, ſo wird das durchgelaſſene Bündel bei ſeinem Durchgange durch einen Kalkſpath in zwei Bilder von den Intenſitäten a und a—a' zerlegt werden.

Geſetzt die Einfallsebene mache mit dem Meridian einen Winkel von 45°. Der Spiegel reflectirt dann $^1/_2$ a' vom erſten und eben ſo $^1/_2$ a' vom zweiten Bündel, und dieſe beiden gleichen Lichtmengen werden, die eine wie die andere, in Bezug auf die Einfallsebene polariſirt ſein. Der durchgelaſſene Theil vom erſten Bündel wird alſo aus a—a' Molecülen beſtehen, die in Bezug auf die Ebene des Meridians und aus $^1/_2$ a' Molecülen, die in Bezug auf die Einfallsebene polariſirt ſind. Das zweite Bündel wird ebenfalls $^1/_2$ a' durchgelaſſene Molecüle liefern, die in Bezug auf die Einfallsebene, und (a—a') Molecüle, die in Bezug auf die Oſtweſtebene polariſirt ſind. Bei ſeiner Zerlegung durch ein Rhomboeder, deſſen Hauptſchnitt der Ebene des Meridians parallel iſt, wird alſo das durchgelaſſene Licht zwei gleich intenſive Bilder geben.

Man ſieht übrigens leicht, daß, wenn die Einfallsebene nach Weſt gerichtet wird, eben dieſelben Erſcheinungen wie in der Ebene des Meridians beobachtet, und in einer dieſer zwei Lagen die beiden aus dem durchgelaſſenen Bündel erhaltenen Bilder die größte Ungleichheit zeigen werden.

Sonach ſind alſo die Phänomene des reflectirten Lichtes abſolut dieſelben, mag das einfallende Lichtbündel aus zwei in entgegengeſetztem Sinne polariſirten Strahlen beſtehen, oder mag man, wenn es directes Licht iſt, annehmen, daß der Spiegel, auf welchen es auffällt, die Fähigkeit beſitze, die Strahlen zu polariſiren. Was die Eigenſchaften des durchgelaſſenen Lichtes anlangt, ſo ſieht man, daß ſie in den beiden Fällen nur darin abweichen, daß, wenn der einfallende Strahl aus zwei bereits polariſirten Strahlen beſteht, der regelmäßige und der unregelmäßige um eine dem reflectirten Lichte gleiche Lichtmenge von einander unterſchieden ſind, während nach der andern Annahme dieſer Unterſchied der Anzahl der reflectirten Strahlen blos proportional wird.

Die beiden Bündel, in welche ſich ein Strahl gewöhnlichen Lichtes nach ſeinem Durchgange durch eine unter paſſender Neigung geſtellte Glasplatte theilt, müſſen folglich nach dieſer Hypotheſe an Intenſität ziemlich merklich verſchieden ſein; und in der That kann man ſich mittelſt eines ſehr reinen Kalkſpathrhomboeders, oder beſſer noch mittelſt einer Bergkryſtallplatte leicht überzeugen, daß die beiden Bilder nicht gleich ſind. Uebrigens würde es ſehr leicht ſein, durch eine größere Zahl von Beiſpielen darzuthun, daß die meiſten Phänomene ſich gleich gut nach beiden Vorausſetzungen erklären.

Wenn man den Hauptſchnitt eines Kalkſpathkryſtalles vertical geſtellt hat und die beiden aus ihm austretenden Lichtbündel unter angemeſſener Neigung auf einem Metallſpiegel auffängt, ſo wird man bemerken, daß ſie nach ihrer Reflexion ziemlich ungleich ſind, obgleich ſie urſprünglich gleich hell waren. Die Abſorption wird ſich übrigens, wie man wohl vermuthen konnte, auf die Art von Molecülen erſtrecken, welche die durchſichtigen Spiegel unter denſelben Umſtänden durchgelaſſen haben würden. Wenn man ferner ein Bündel gewöhnlichen Lichtes auf einen Metallſpiegel fallen läßt, ſo beſteht das reflectirte

Bild ebenfalls aus zwei ungleichen Strahlen, indem wie zuvor dasjenige das ſchwächſte iſt, welches durch einen durchſichtigen Spiegel hindurchgegangen ſein würde. Im erſten Falle war es nichts Ungewöhnliches, daß einer der Strahlen mehr geſchwächt wurde als der andere, weil ſie urſprünglich verſchiedene Eigenſchaften beſaßen; in dem zweiten Verſuche aber wird es, wenigſtens wenn man nicht von der Vorausſetzung ausgeht, daß das einfallende Bündel bereits polariſirte Strahlen enthielt, ſchwierig, um nicht zu ſagen unmöglich ſein, zu begreifen, warum die beiden Bilder nicht gleich hell ſind.

Kurz, die Phänomene der Doppelbrechung ſcheinen ſich eben ſo gut erklären zu laſſen, mag man annehmen, ein Strahl gewöhnlichen Lichtes ſei aus zwei gleich intenſiven und in entgegengeſetztem Sinne polariſirten Strahlen gebildet, oder mag man die Anſicht vorziehen, daß ſeine verſchiedenen Molecüle nur durch den Einfluß der Körper, welche ſie durchdringen, polariſirt werden.

In dem erſten Falle werden die entgegengeſetzten Eigenſchaften, womit die reflectirten und die gebrochenen Strahlen begabt ſind, von den analogen Eigenſchaften abhängen, die den beiden Theilen des directen Strahles angehören, welche beiden Theile durch die durchſichtigen Körper in verſchiedener Weiſe geſiebt werden. Nach der zweiten Hypotheſe wird man annehmen müſſen, daß die Kräfte, welche die Zurückwerfung und Brechung des Lichtes veranlaſſen, gleichzeitig auch die Eigenſchaft beſitzen, den Molecülen, auf welche ſie wirken, entgegengeſetzte Modificationen einzuprägen.

Endlich ſieht man, daß die Erſcheinung der farbigen Ringe und die der ungleichen Stärke der beiden Bündel, in welche das von einem Metalle reflectirte Licht ſich zerlegt, nur durch die Annahme ohne Schwierigkeit erklärt werden können, daß die Molecüle, aus denen ein gewöhnlicher Lichtſtrahl beſteht, ſchon Pole beſaßen, bevor ſie der Wirkung der Körper unterworfen wurden (mag man annehmen, daß dieſe Pole in zwei auf einander ſenkrechte Ebenen gelegen, oder daß ſie gleichförmig nach allen Punkten des Raumes gerichtet ſind).

Abhandlung über die brechenden und zerſtreuenden Kräfte gewiſſer Flüſſigkeiten und der aus ihnen entſtehenden Dämpfe;

geleſen im Inſtitut von Frankreich am 11. December 1815.*)

Die Theorie der Brechung bildet, wenn ſie aus dem allgemeinſten Geſichtspunkte betrachtet wird, einen der wichtigſten Theile der Optik, und zwar nicht blos wegen ihrer zahlreichen Anwendungen, ſondern auch wegen der Folgerungen, die ſich daraus in Bezug auf die Natur des Lichtes und die wahren Urſachen ſeiner Eigenſchaften herleiten laſſen. Auch haben es ſich diejenigen Phyſiker, welche die verſchie-

*) Von Arago und Petit gemeinſchaftlich verfaßte, und 1816 im erſten Bande der Annales de chimie et de physique abgedruckte Abhandlung. — Ueber dieſe Abhandlung hat Arago folgende handſchriftliche Notiz hinterlaſſen:

„In dieſer Abhandlung wird bewieſen, daß das Brechungsvermögen einer Flüſſigkeit ſehr viel größer iſt, als das Brechungsvermögen des daraus erzeugten Dampfes: während z. B. daſſelbe beim Schwefelkohlenſtoff bezogen auf die Luft gleich 3 iſt, beträgt es für die Dämpfe dieſer Subſtanz nur 2. Man ſieht alſo, welchem Irrthume Laplace ſich ausgeſetzt hatte, als er das Brechungsvermögen des Waſſerdampfs aus dem des flüſſigen Waſſers berechnete, und erklärte, daß nach der Newton'ſchen Theorie die Annahme der Gleichheit dieſer beiden brechenden Kräfte das Natürlichere wäre. Die Verfaſſer der Abhandlung haben durch ihre Verſuche gleichfalls gezeigt, daß das Zerſtreuungsvermögen der Dämpfe geringer iſt als das der Flüſſigkeiten, aus denen ſie ſtammen. So ergab ſich, daß wenn für den flüſſigen Schwefelkohlenſtoff das Verhältniß des Zerſtreuungsvermögens zum Brechungsvermögen 0,14 iſt, dieſes Verhältniß für die Dämpfe derſelben Subſtanz nur 0,08 erreicht."

denen, zur Erklärung der Lichtphänomene aufgestellten Systeme zu entwickeln oder zu begründen versucht haben, ganz besonders angelegen sein lassen, das Brechungsgesetz aus der von ihnen angenommenen Hypothese herzuleiten.

Indem Newton die Brechung einer Anziehung des Lichtes durch die Körper zuschrieb, hat er von dieser Erscheinung und dem von ihr befolgten Gesetze eine so natürliche und einleuchtende Erklärung gegeben, daß man dieselbe stets als einen der Hauptbeweise für die Emissionstheorie betrachtet hat. Indeß, wenn man erwägt, daß von allen aus der Newton'schen Hypothese abgeleiteten allgemeinen Folgerungen bis jetzt einzig das Gesetz des constanten Verhältnisses des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels hat geprüft werden können; wenn man ferner bedenkt, daß dies Gesetz sich auch beweisen läßt, ohne daß man nöthig hat seine Zuflucht zu der Vorstellung einer Anziehung zu nehmen: so fühlt man leicht, daß es, bevor man sich unter Verwerfung aller anderen Hypothesen zur Annahme der Newton'schen Theorie entschließt, unerläßlich ist, zu untersuchen, wie weit die verschiedenen Schlußfolgerungen, die sich aus ihr herleiten lassen, durch die Erfahrung bestätigt werden. Dies ist der Gegenstand der Untersuchungen, von denen wir heute der Klasse einen Theil vorlegen. Um das Ziel derselben besser erkennen zu lassen, wird es zweckmäßig sein, in der Kürze an die Hauptpunkte der Theorie der Brechung, wie Newton dieselbe aus der Annahme einer von den Körpern auf das Licht ausgeübten Anziehung hergeleitet hat, zu erinnern.

Nach dieser Hypothese begreift man leicht, daß, wenn die Molecüle, aus denen ein Lichtstrahl besteht, sich einem brechenden Körper nähern, die Anziehung, welche dieser Körper auf jene Molecüle ausübt, sowohl die Geschwindigkeit der letzteren als auch die Richtung ihrer Bewegung ändert, und daß diese Bewegung wieder gleichförmig und gradlinig wird, wenn die Molecüle in den Körper bis auf eine Tiefe, wo die Anziehung aufhört merklich zu sein, eingedrungen sind. Das auf diesen Fall anwendbare Princip der lebendigen Kräfte zeigt, daß die Geschwindigkeit, welche das Licht durch den Act der Brechung erlangt, von der ursprünglichen Richtung des Strahles unabhängig

ist, und daß das Verhältniß dieser Geschwindigkeit zu der des einfallenden Lichtes dem Verhältnisse des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels gleich ist.

Dasselbe Princip der lebendigen Kräfte gibt als Maaß der Gesammtwirkung des Körpers auf das Licht die Zunahme des Quadrats der Geschwindigkeit des Strahles, welche Zunahme man aus diesem Grunde mit dem Namen der brechenden Kraft bezeichnet. Diese Größe muß offenbar von der Natur des Körpers abhängen; für eine und dieselbe Substanz aber muß sie der Dichtigkeit proportional bleiben, weil es natürlich ist anzunehmen, daß eine Anziehung stets proportional der Masse erfolgt, nach welcher Function sie auch sonst mit der Entfernung sich ändern möge. Nach dieser Annahme darf das Brechungsvermögen, wenn man darunter das Verhältniß der brechenden Kraft zur Dichtigkeit versteht, nur noch von der chemischen Constitution des Körpers abhängen, und muß, wenn blos die Dichtigkeit sich ändert, constant bleiben.

Diese Folgerung aus der Theorie der Anziehung ist, mit Ausnahme der Gase, niemals geprüft worden. Wenn man aber bedenkt, daß die brechende Kraft der Gase außerordentlich schwach ist, und daß folglich der Zuwachs an Geschwindigkeit, welchen sie dem Lichte ertheilen, sehr gering ist: so wird man sich leicht durch eine sehr einfache Rechnung überzeugen können, daß der Ausdruck, welchen die Newton'sche Theorie für die brechende Kraft liefert, nicht der einzige ist, der bei den Gasen mit der Dichtigkeit proportional bleibt, sondern daß unzählige andere von ihm verschiedene existiren, welche alle derselben Bedingung Genüge leisten. Daraus folgt, daß man, obwohl die Gase ein von ihrer Dichtigkeit unabhängiges Brechungsvermögen zu haben scheinen, doch keineswegs zu dem Schlusse berechtigt ist, daß die festen und flüssigen Körper eben diese Eigenschaft besitzen.

Wir haben geglaubt, das beste Mittel, diese Frage vollständig zur Entscheidung zu bringen, würde in der Vergleichung des Brechungsvermögens verschiedener Flüssigkeiten mit dem Brechungsvermögen der aus ihnen gebildeten Dämpfe bestehen. In diesem Falle ist die Dichtigkeitsänderung sehr beträchtlich, und wenigstens besitzt einer der Körper eine sehr starke Wirkung auf das Licht. Wir haben also unter

den Flüssigkeiten solche ausgewählt, welche bei gewöhnlichen Lufttemperaturen sehr reichliche Dämpfe liefern. Wir maßen die brechende Kraft einer jeden dieser Flüssigkeiten und eben so der aus ihnen entstandenen Dämpfe; als wir dann diese brechenden Kräfte mit den bekannten Dichtigkeiten der Flüssigkeiten und der Dämpfe verglichen, konnten wir leicht erkennen, ob für jeden dieser Körper das Brechungsvermögen, d. h. der Ausdruck $\frac{i^2-1}{d}$ von der Dichtigkeit unabhängig war.

Das Resultat unserer Versuche beweist in aller Strenge das Gegentheil; alle stimmen darin überein, daß sie für die Dämpfe ein merklich geringeres Brechungsvermögen als für die Flüssigkeiten, woraus sie gebildet sind, geben. So ist, um nur ein Beispiel anzuführen, das Brechungsvermögen des flüssigen Schwefelkohlenstoffes, bezogen auf die Luft, etwas größer als 3, während das Brechungsvermögen derselben Substanz im gasförmigen Zustande, gleichfalls auf die Luft bezogen, 2 nicht überschreitet.

Wenn man jetzt dieses Resultat mit der Theorie vergleicht, so ist man, wofern man überhaupt die Newton'sche Erklärung der Brechung gelten lassen will, zu der wenigstens ziemlich unwahrscheinlichen Annahme gezwungen, daß die Anziehung eines und desselben Körpers auf das Licht nicht proportional mit der Dichtigkeit erfolge. Leider ist die Zahl der Substanzen, welche im dampfförmigen Zustande zu genauen Versuchen verwendet werden können, zu gering, als daß wir hoffen dürften, aus den Resultaten unserer Versuche irgend ein Gesetz in Bezug auf die Aenderung, welche eine Aenderung der Dichtigkeit in der Affinität der Körper zum Lichte hervorbringt, herleiten zu können. Die von uns untersuchten Flüssigkeiten sind Schwefelkohlenstoff, Schwefeläther und Salzäther.

Beim Mangel eines solchen directen Verfahrens schien es uns, als ob sich dies Gesetz aus der Vergleichung des Brechungsvermögens der Gase und derjenigen festen oder flüssigen Körper, welche durch ihre Verbindung entstehen, würde herleiten lassen. Denn, wenn bei den Verbindungen der Gase, welche den gasförmigen Zustand behalten,

das Brechungsvermögen der Verbindung, wie man bis jetzt geglaubt hat, der Summe der Brechungsvermögen ihrer Beſtandtheile gleich wäre, ſo würde daraus folgen, daß der Act der Verbindung in keiner Weiſe die Wirkung der Körper auf das Licht modificirte; woraus man dann mit Wahrſcheinlichkeit ſchließen dürfte, daß das Brechungsvermögen einer zuſammengeſetzten feſten oder flüſſigen Subſtanz von der Summe der Brechungsvermögen ihrer gasförmigen Beſtandtheile nur nach Verhältniß der Zunahme, welche dieſe letzteren durch den Einfluß der Condenſation erleiden, abweichen werde.

Indeß da ſich das Geſetz über die brechende Kraft der zuſammengeſetzten Gaſe nur auf eine kleine Zahl von Verſuchen gründet, ſo war es unerläßlich, ſich zuvor von ſeiner Richtigkeit zu überzeugen; es haben uns aber die Meſſungen, welche wir über die Brechung einer großen Anzahl von Gaſen angeſtellt haben, gezeigt, daß jenes Geſetz nicht immer mit den Reſultaten der Beobachtungen im Einklange iſt.

Man ſieht alſo, daß das Brechungsvermögen eines Körpers anſtatt, wie die Newton'ſche Theorie bei der natürlichſten Annahme, die ſich über die Anziehung machen läßt, zu beweiſen ſcheinen würde, conſtant zu ſein, gerade im Gegentheil Aenderungen erleidet, ſei es durch den Einfluß der Dichtigkeitsänderung, oder infolge des Verbindungszuſtandes, in welchem ſich der Körper befindet. Um den Einfluß einer jeden dieſer Urſachen geſondert zu ermitteln, iſt es nöthig, mit Genauigkeit das Brechungsvermögen einer großen Zahl von Subſtanzen und der aus ihnen gebildeten Verbindungen zu meſſen. Obgleich die von uns in dieſer Beziehung unternommene Arbeit bereits eine ziemlich beträchtliche Anzahl von Körpern umfaßt, halten wir doch für nothwendig, ſie noch weiter auszudehnen, bevor wir durch irgend ein allgemeines Geſetz die verſchiedenen Reſultate, zu welchen wir gekommen ſind, zu verknüpfen ſuchen.

Die Thatſachen, welche wir ſo eben feſtgeſtellt haben, ſind uns in Bezug auf die Theorie des Lichtes von ſolcher Wichtigkeit erſchienen, daß wir geglaubt haben, es dürfte nützlich ſein, die Conſequenzen daraus in den verſchiedenen Phänomenen zu verfolgen, welche ihrer Na-

tur nach mit der Brechung in mehr oder weniger directem Zusammenhange stehen.

Die verschiedenfarbigen Strahlen, woraus das weiße Licht zusammengesetzt ist, werden bekanntlich durch die Brechung in verschiedenartigen Körpern in ungleicher Weise von einander getrennt, und hierin besteht der Unterschied der zerstreuenden Kraft der Körper. Am natürlichsten scheint es, für das Maaß des Zerstreuungsvermögens den Unterschied der verschiedenen Brechungsvermögen bezüglich der äußeren Strahlen des Spectrums zu wählen; und in dem Newton'schen Systeme würde dieser Unterschied für eine und dieselbe Substanz eben so wie das Brechungsvermögen der mittleren Strahlen constant sein müssen.

Da uns die Erfahrung gelehrt hatte, daß dies letztgenannte Brechungsvermögen mit der Dichtigkeit abnahm, so war leicht voraus zu sehen, daß die zerstreuende Kraft ebenfalls abnehmen würde; indeß war es von Wichtigkeit, zu untersuchen, ob diese Aenderungen demselben Gesetze folgten. Um dies Ziel zu erreichen, mußte das Zerstreuungsvermögen der Flüssigkeiten und Dämpfe, deren Brechungsvermögen wir schon vorher gemessen hatten, bestimmt werden. Die zerstreuende Kraft der Flüssigkeiten ließ sich leicht ermitteln, dagegen war dies nicht der Fall bei den Dämpfen. Da die Brechung, welche diese letztern in einem Prisma hervorbringen, sehr schwach ist, so kann die Zerstreuung, die von jener Brechung nur ein sehr kleiner Theil ist, kaum merklich sein; auch schienen trotz der Wichtigkeit einer solchen Bestimmung, sowohl bei den Gasen als bei den Dämpfen, die Physiker darauf verzichtet zu haben, dieselbe aus der Beobachtung herzuleiten. Weil aber das Ziel, das wir uns gesteckt hatten, eine directe Messung erforderte, so haben wir uns bemüht, unsere Absicht mittelst eines Verfahrens zu erreichen, von dem wir eine ausführliche Beschreibung geben werden. Man wird ferner aus den Resultaten, die wir berichten werden, ersehen, daß die unter verschiedenen Umständen mit einem und demselben Dampfe ausgeführten Versuche hinreichend unter einander übereinstimmen, so daß man unsere Bestimmungen als der Wahrheit sehr nahe kommend betrachten darf.

Indem wir die auf ſolche Weiſe gemeſſenen zerſtreuenden Kräfte der Dämpfe mit denen der Flüſſigkeiten, woraus die Dämpfe ſtammten, verglichen, haben wir uns überzeugt, daß das Zerſtreuungsvermögen in Wirklichkeit mit der Dichtigkeit abnahm. Die Beobachtung lehrte uns aber ferner auf nicht minder zuverläſſige Weiſe, daß das Zerſtreuungsvermögen in einem ſtärkeren Verhältniſſe abnimmt, als das Brechungsvermögen, oder anders ausgedrückt, daß wenn man i das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, und d die Dichtigkeit des Körpers nennt, das Brechungsvermögen $\frac{i^2-1}{d}$ nicht nur für eine und dieſelbe Klaſſe von Strahlen veränderlich iſt, ſondern auch daß das Geſetz, nach welchem jene Aenderung erfolgt, für die verſchiedenfarbigen Strahlen ein anderes iſt.

Beim Schwefelkohlenſtoff, den wir als Beiſpiel gewählt hatten, iſt im flüſſigen Zuſtande das Verhältniß des Zerſtreuungsvermögens zum Brechungsvermögen 0,14, während es im dampfförmigen Zuſtande ſich auf weniger als 0,08 verringert.

Während alſo die Aenderung des Brechungsvermögens noch durch die Annahme erklärt werden konnte, daß die Anziehung eines und deſſelben Körpers auf das Licht nach einem Geſetze ſich ändere, welches von dem directen Verhältniſſe der Dichtigkeiten abweicht, ſieht man, daß, um von der beobachteten Aenderung in dem Zerſtreuungsvermögen Rechenſchaft geben zu können, noch außerdem angenommen werden müßte, die Wirkung eines Körpers auf die verſchiedenfarbigen Strahlen folge bei den Dichtigkeitsänderungen für jeden dieſer Strahlen einem anderen Geſetze. Dieſe verſchiedenen Annahmen thun ohne Zweifel ſowohl der Einfachheit als auch der Wahrſcheinlichkeit der Newton'ſchen Theorie Abbruch; bevor ſich aber in dieſer Hinſicht etwas entſcheiden läßt, iſt es, wir wiederholen es, nöthig, mit großer Sorgfalt die Veränderungen zu prüfen, welche die brechenden Kräfte der Körper, ſei es infolge von Dichtigkeitsveränderungen oder durch die Wirkung ihrer Verbindung mit andern erleiden. Eben ſo uner-

läßlich ist es, den eben genannten Messungen diejenigen hinzuzufügen, welche sich auf die zerstreuenden Kräfte beziehen, mit denen die Physiker sich bis jetzt niemals beschäftigt hatten, und die, wie wir bereits ausgesprochen, mittelst zahlreicher Vorsichtsmaaßregeln aus directen Beobachtungen hergeleitet werden können.

Abhandlung über die Wirkung, welche polarisirte Lichtstrahlen auf einander ausüben.*)

Bevor wir die Versuche mittheilen, welche den Gegenstand dieser Abhandlung ausmachen, wird es vielleicht nicht unzweckmäßig sein, an einige der schönen Resultate zu erinnern, welche Dr. Thomas Young bereits erhalten hatte, als er mit jenem seltenen Scharfsinne, der ihn auszeichnet, den Einfluß untersuchte, welchen Lichtstrahlen unter gewissen Umständen auf einander ausüben.

1) Zwei Strahlen homogenen Lichtes, welche von einer und derselben Quelle ausgehen und auf zwei verschiedenen, sehr wenig ungleichen Wegen zu einem gewissen Punkte im Raume gelangen, verstärken oder zerstören sich, und bilden auf dem sie auffangenden Schirme, je nach dem Unterschiede ihrer Wege, eine helle oder dunkle Stelle.

2) Zwei Strahlen verstärken sich stets da, wo sie gleiche Wege zurückgelegt haben; findet man, daß sie sich von Neuem verstärken, wenn die Differenz der beiden Wege gleich einer gewissen Größe d ist, so werden sie sich wiederum für alle in der Reihe 2d, 3d, 4d u. s. w. enthaltenen Differenzen verstärken. Die Zwischenwerthe $0 + \frac{1}{2}d$, $d + \frac{1}{2}d$, $2d + \frac{1}{2}d$ u. s. w. zeigen diejenigen Fälle an, wo die Strahlen sich gegenseitig aufheben.

*) Diese von Arago und Fresnel gemeinschaftlich verfaßte Abhandlung ist 1819 in den Annales de chimie et de physique gedruckt worden. Vergl. mehrere auf dieselbe bezügliche Stellen im 7. Bande der Werke Arago's.

3) Die Größe d hat nicht denſelben Werth für alle homogenen Strahlen: in der Luft beträgt ſie $^{67}/_{100000}{}^{mm}$ für die äußerſten rothen Strahlen des Spectrums, aber nur $^{42}/_{100000}{}^{mm}$ für die violetten Strahlen; die den anderen Farben entſprechenden Werthe liegen zwiſchen den eben genannten.

Die periodiſch wiederkehrenden Farben der farbigen Ringe, der Höfe u. ſ. w. ſcheinen von dem Einfluſſe abzuhängen, den auf dieſe Weiſe Strahlen auf einander ausüben, welche anfänglich getrennt, ſpäter wieder zuſammen kommen. Damit indeß die zuvor angeführten Geſetze den verſchiedenen Phänomenen Genüge leiſten, muß man die Annahme machen, daß die Wegedifferenz nur dann allein die Wirkung beider Strahlen in ihrem Durchkreuzungspunkte beſtimmt, wenn ſich beide ſtets in denſelben Mitteln bewegt haben; und daß, wenn zwiſchen den Brechungen oder den Dicken der von jedem Strahle geſondert durchlaufenen durchſichtigen Körper irgend eine Verſchiedenheit exiſtirt, dieſelbe eine Wirkung hervorbringt, welche einem gewiſſen Wegeunterſchiede äquivalent iſt. An einem anderen Orte*) iſt ein directer Verſuch von Arago mitgetheilt worden, welcher dieſelben Reſultate liefert und aus dem ſich außerdem die Folgerung ergibt, daß ein durchſichtiger Körper die Geſchwindigkeit des Lichtes, welches durch ihn hindurchgeht im Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels vermindert; ſo daß bei allen Interferenzphänomenen**) zwei verſchiedene Mittel gleiche Wirkungen hervorbringen werden, wenn ihre Dicken im umgekehrten Verhältniſſe der Brechungscoefficienten***) ſtehen. Dieſe Betrachtungen führen auch,

*) Im 7. Bande von Arago's Werken (Anhang zu dem Aufſatze über das Funkeln der Sterne).

**) Young nennt ſo alle durch das Zuſammentreffen zweier oder mehrerer Strahlen erzeugten Lichterſcheinungen.

***) Zur Abkürzung bezeichnen wir mit Brechungscoefficient (coefficient de la réfraction) das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels. Die Engländer nennen daſſelbe Verhältniß index of refraction. Mehrere franzöſiſche Schriftſteller ſagen indice de réfraction. Dieſe Benennungen dürfen nicht mit dem Brechungsvermögen verwechſelt werden, welches nur in der Emiſſionstheorie eine präciſe Bedeutung hat.

wie man hat sehen können, zu einer neuen Methode, geringe Unterschiede in den Brechungsverhältnissen zu messen.

Während der von uns gemeinschaftlich zur Ermittelung des Grades von Genauigkeit, dessen diese Methode fähig ist, angestellten Versuche kam einer von uns (Arago) auf die Idee, daß es Interesse haben könnte, zu untersuchen, ob die Wirkungen, welche die directen Lichtstrahlen gewöhnlich auf einander ausüben, nicht modificirt werden würden, wenn man zwei Lichtbündel, erst nachdem man sie zuvor polarisirt habe, zur Interferenz brächte.

Wenn man einen schmalen Körper durch das von einem strahlenden Punkte ausgehende Licht beleuchtet, so ist bekanntlich sein Schatten äußerlich von einer Reihe von Streifen eingefaßt, welche durch die Interferenz des directen Lichtes und der in der Nähe des dunkeln Körpers gebeugten Strahlen gebildet sind. Indem ferner ein Theil desselben Lichtes an beiden entgegengesetzten Rändern des Körpers in den Kernschatten eindringt, gibt er zur Entstehung eben solcher Streifen Veranlassung. Wir erkannten nun zuerst leicht, daß diese beiden Systeme von Streifen einander durchaus gleichen, mag das einfallende Licht keine Modification erfahren haben, oder mag es auf den Körper erst anlangen, nachdem es vorher polarisirt worden ist. Die in demselben Sinne polarisirten Strahlen wirken also, indem sie sich mischen, gerade eben so auf einander, wie die natürlichen Strahlen.

Es blieb noch übrig zu prüfen, ob zwei ursprünglich unter rechten Winkeln, oder um den hergebrachten Ausdruck zu gebrauchen, im entgegengesetzten Sinne polarisirte Strahlen nicht eben solche Erscheinungen hervorbringen würden, wenn sie sich im Innern des Kernschattens eines dunklen Körpers durchkreuzten.

Zu diesem Zwecke stellten wir bald ein Kalkspathrhomboeder, bald ein achromatisirtes Bergkrystallprisma vor den strahlenden Brennpunkt*) und erhielten auf diese Weise zwei leuchtende Punkte. Von jedem derselben ging ein divergirendes Lichtbündel aus; beide Bündel waren, wie man sieht, im entgegengesetzten Sinne polarisirt. Darauf

*) Für alle in dieser Abhandlung erwähnten Versuche ging das Licht von dem Brennpunkte einer kleinen Linse aus.

wurde ein Metallcylinder zwischen die beiden strahlenden Punkte gestellt, so daß er genau der Mitte des zwischen ihnen liegenden Raumes entsprach. Zufolge dieser Anordnung drang ein Theil der polarisirten Strahlen des ersten Bündels auf der rechten Seite in den hinter dem Cylinder gelegenen Raum, und eben dahin gelangte auch von der linken Seite her ein Theil der im entgegengesetzten Sinne polarisirten Strahlen des zweiten Bündels. Einige Strahlen dieser beiden Gruppen trafen in der Nähe der Linie zusammen, welche den Mittelpunkt des Cylinders und die Mitte der durch die beiden leuchtenden Punkte gehenden Graden verbindet. Hier hatten diese Strahlen gleiche, oder nur wenig verschiedene Wege zurückgelegt, und es scheint also, als ob sich daselbst Streifen hätten bilden müssen; man sah aber nicht die geringste Spur davon, selbst nicht mit einer Loupe. Mit einem Wort, die Strahlen hatten sich durchkreuzt, ohne auf einander Einfluß zu üben; die einzigen Systeme von Streifen, welche man bei diesem Versuche wahrnahm, rührten von der Interferenz der Strahlen her, welche von jedem strahlenden Punkte, denselben als allein vorhanden betrachtet, an beiden entgegengesetzten Rändern des Cylinders in den Schatten eindrangen. Diejenigen, welche wir mittels der Durchkreuzung der im entgegengesetzten Sinne polarisirten Strahlen hervorzubringen suchten, würden offenbar zwischen den ersteren haben liegen müssen.

Der zu diesem Versuche benutzte Krystall trennte die beiden Bilder sehr wenig, und der regelmäßige und der unregelmäßige Strahl hatten ihn in nahe gleichen Dicken durchdringen müssen. Wir hatten indeß bei ähnlichen Versuchen bereits zu oft bemerkt, wie sehr der kleinste Unterschied in den Geschwindigkeiten der Strahlen, in der Dicke oder in der brechenden Kraft der Mittel, durch welche sie hindurch gehen, die Interferenzphänomene modificirt, um nicht von der Nothwendigkeit, unsere Prüfung unter Vermeidung aller bezeichneten Ursachen von Unsicherheiten zu wiederholen, völlig überzeugt zu sein. Jeder von uns suchte die Mittel dazu.

Fresnel erdachte zuerst für diesen Zweck zwei verschiedene Methoden. Das Princip der Interferenzen zeigt, daß die aus zwei leuchtenden Punkten ausgehenden, aber aus derselben Quelle stammenden Strahlen in ihren Durchkreuzungspunkten dunkle und helle Streifen

bilden, ohne daß es bei diesem Versuche nöthig ist, irgend einen dunklen Körper dazwischen treten zu lassen. (Vergl. Annales de chimie et de physique, I. 332).

Um die gestellte Frage zu lösen, genügte es also zu versuchen, ob die beiden Bilder, welche durch Vorsetzen eines Kalkspathrhomboeders vor einen leuchtenden Punkt entstehen, nicht ein eben solches Resultat geben würden; da aber nach der Theorie der Doppelbrechung der unregelmäßige Strahl im Kalkspath sich schneller bewegt, als der regelmäßige, so mußte man vor der Durchkreuzung der Strahlen diesen Ueberschuß an Geschwindigkeit auf künstlichem Wege compensiren. Um diesen Zweck zu erreichen, stellte Fresnel, indem er sich auf einen zuvor (S. 106) bereits erwähnten Versuch Arago's stützte, in die Bahn des unregelmäßigen Strahles eine Glasplatte, deren Dicke so berechnet war, daß jener Strahl bei senkrechtem Durchgange durch dieselbe fast den ganzen Vorsprung verlor, welchen er im Krystalle vor dem regelmäßigen Strahle gewonnen hatte. Indem er ferner die Platte schwach neigte, vermochte er in dieser Beziehung eine genaue Compensation zu erhalten. Dessenungeachtet gab das Durchkreuzen der beiden in entgegengesetztem Sinne polarisirten Lichtbündel durchaus keine Streifen.

Bei einem anderen Versuche ließ Fresnel, um den Einfluß des Geschwindigkeitsunterschiedes zu compensiren, beide Strahlen auf eine kleine nicht belegte Spiegelplatte fallen, deren Dicke so berechnet war, daß der unregelmäßige Strahl unter perpendiculärer Reflexion auf ihrer zweiten Fläche bei seinem doppelten Durchgange durch das Glas mehr verlor, als er beim Durchgange durch den Krystall gewonnen hatte. Eine allmäliche Aenderung der Neigung mußte dann eine vollständige Compensation herbeiführen: aber dennoch gaben unter keinem Einfallswinkel die auf der Vorderfläche des Glases reflectirten Strahlen des regelmäßigen Bündels bei ihrem Zusammentreffen mit den von der zweiten Fläche reflectirten Strahlen merkliche Streifen.

Fresnel beseitigte den Mangel, welcher dem vorigen Versuche anhaftet, weil er auf einer theoretischen Betrachtung beruht, und erhielt außerdem dem einfallenden Lichte auch seine ganze Intensität durch folgendes Verfahren. Nachdem er ein Kalkspathrhomboeder hatte mitten durch-

schneiden lassen, stellte er die beiden Stücke dergestalt vor einander auf, daß ihre Hauptschnitte auf einander senkrecht waren. Bei dieser Stellung erlitt das regelmäßige Bündel des ersten Krystalles im zweiten die unregelmäßige Brechung, und eben so ward umgekehrt das Bündel, welches zuerst unregelmäßig gebrochen worden, nachher regelmäßig gebrochen. Blickte man durch diesen Apparat hindurch, so sah man also ein doppeltes Bild des leuchtenden Punktes. Jeder Strahl hatte nach einander die beiden Arten von Brechungen erlitten; die Summen der von jedem Strahle in den beiden Krystallen gleichzeitig durchlaufenen Wege mußten folglich gleich sein, weil der Voraussetzung nach beide Krystalle dieselbe Dicke hatten. Auf diese Weise war Alles sowohl in Bezug auf die Geschwindigkeiten als auf die durchlaufenen Wege compensirt, und dennoch erzeugten die beiden Systeme der im entgegengesetzten Sinne polarisirten Strahlen keinen wahrnehmbaren Streifen. Wir fügen noch bei, daß man aus Furcht, die beiden Kalkspathstücke möchten nicht genau dieselbe Dicke besitzen, bei jedem Versuche Sorge trug, allmälich den Winkel, unter welchen die einfallenden Strahlen den zweiten Krystall trafen, ein wenig variiren zu lassen.

Die von Arago seinerseits ausgedachte Methode, um denselben Versuch auszuführen, war von der Doppelbrechung unabhängig. Man weiß seit langer Zeit, daß wenn man in einem dünnen Blättchen zwei sehr feine Spalten in geringem Abstande von einander anbringt, und sie mit Licht beleuchtet, das von einem einzigen Punkte ausgeht, sich hinter dem Blättchen sehr lebhafte Streifen bilden, von der Wirkung herrührend, welche die Strahlen der rechten Spalte auf die Strahlen der entgegengesetzten Spalte in den Punkten, wo sie sich treffen, gegenseitig ausüben. Um die aus diesen beiden Oeffnungen kommenden Strahlen in entgegengesetztem Sinne zu polarisiren, hatte Arago anfangs daran gedacht, eine dünne Achatplatte zu nehmen, sie in der Mitte durchzuschneiden, und jede Hälfte vor eine der Spalten zu stellen, jedoch dergestalt, daß die ursprünglich an einander befindlich gewesenen Theile der Achatstücke sich dann in auf einander senkrechten Richtungen fänden. Diese Anordnung hätte offenbar die erwartete Wirkung erzeugen müssen; da Arago aber augenblicklich keinen passen-

den Achat zur Hand hatte, so schlug er vor, ihn durch zwei Säulen aus Platten zu ersetzen, und solche, um ihnen die für das Gelingen des Versuches nöthige Dünne geben zu können, aus Glimmerblättchen zusammenzustellen.

In dieser Absicht wählten wir funfzehn möglichst reine Glimmerblättchen aus, legten sie über einander und schnitten diese einzige Säule mit einem scharfen Instrumente mitten durch. Man sieht hiernach, daß die beiden aus dieser Theilung entstandenen Säulen sehr nahe dieselbe Dicke, wenigstens in den Theilen, die ursprünglich an einander gesessen hatten, besitzen mußten, selbst wenn die einzelnen Blättchen merklich prismatisch gewesen wären. Diese Säulen polarisirten das durch sie hindurchgehende Licht fast vollständig, wenn der Einfallswinkel von der Fläche gezählt 30° betrug; und gerade unter dieser Neigung wurde jede derselben vor eine der in einem Messingblättchen angebrachten Spalten gestellt.

Wenn die beiden Einfallsebenen parallel lagen, wenn also die beiden Säulen in demselben Sinne geneigt waren, z. B. von oben nach unten, so sah man deutlich die aus der Interferenz der beiden polarisirten Strahlen entstehenden Streifen, ganz so, als wenn man zwei Strahlen gewöhnlichen Lichts auf einander wirken läßt. Sobald man aber die eine der Säulen um den einfallenden Strahl drehte, bis die beiden Einfallsebenen auf einander senkrecht standen, also z. B. während die erste Säule stets von oben nach unten geneigt blieb, die zweite von links nach rechts gerichtet wurde: so erzeugten die beiden austretenden Bündel, welche dann unter rechten Winkeln oder in entgegengesetztem Sinne polarisirt waren, bei ihrem Zusammentreffen keine merklichen Streifen mehr.

Die Vorsichtsmaaßregeln, welche wir getroffen hatten, um beiden Säulen dieselbe Dicke zu geben, lassen hinlänglich vermuthen, daß wir beim Vorsetzen vor die Spalten Sorge trugen, das Licht durch diejenigen Theile hindurch gehen zu lassen, welche vor der Theilung der ganzen Säule an einander saßen. Es wurde übrigens vorhin schon erwähnt, und dieser Umstand beseitigt alle Bedenken, welche man in dieser Hinsicht erheben könnte, daß die Streifen sich wie gewöhnlich bildeten, wenn die Strahlen in demselben Sinne polarisirt waren.

Wir ſetzen aber doch noch hinzu, daß auch eine langſame und allmäliche Aenderung in der Neigung der einen Säule niemals Streifen entſtehen ließ, ſobald die Einfallsebenen auf einander ſenkrecht waren.

An demſelben Tage, wo wir das Syſtem der beiden Säulen probirt hatten, machten wir nach Fresnel's Idee einen Verſuch, der zwar weniger direct iſt, als der vorhergehende, aber andererſeits von leichterer Ausführung, und gleichfalls die Unmöglichkeit, Streifen durch die Durchkreuzung der unter rechten Winkeln polariſirten Lichtſtrahlen hervorzubringen, darthut.

Man ſtelle vor die Meſſingplatte mit ihren zwei Spalten z. B. eine Gypsplatte von geringer Dicke. Weil dieſer Kryſtall Doppelbrechung beſitzt, ſo treten aus jeder Spalte zwei in entgegengeſetztem Sinne polariſirte Lichtbündel aus. Wenn nun die Strahlen der einen Art auf die Strahlen von entgegengeſetzter Art einzuwirken vermöchten, ſo würde man mit dieſem Apparate drei unterſchiedene Streifenſyſteme ſehen müſſen. Die regelmäßigen Strahlen von rechts würden combinirt mit den regelmäßigen Strahlen von links ein erſtes Syſtem, genau der Mitte des zwiſchen beiden Spalten enthaltenen Raumes entſprechend, geben. Die durch Interferenz der beiden unregelmäßigen Strahlenbündel gebildeten Streifen, würden denſelben Platz, wie die vorhergehenden einnehmen, und deren Intenſität erhöhen, könnten daher nicht beſonders unterſchieden werden. Was nun aber die Streifen betrifft, welche aus der Wirkung der regelmäßigen Strahlen von rechts auf die unregelmäßigen von links und umgekehrt entſtehen, ſo würden dieſelben ſich rechts und links von den centralen Streifen bilden müſſen, und zwar um ſo weiter ab, je dicker die angewandte Platte wäre; denn wir haben geſehen, daß ein Unterſchied in der Geſchwindigkeit ganz eben ſo die Lage der Streifen ändert, wie ein Unterſchied im Wege. Da nun die Streifen in der Mitte allein ſichtbar ſind, ſelbſt dann, wenn die vorgeſetzte Platte ſo dünn iſt, daß die beiden anderen Syſteme nur wenig entfernt hätten liegen können, ſo muß man daraus ſchließen, daß die Strahlen verſchiedenen Namens oder die im entgegengeſetzten Sinne polariſirten Strahlen nicht auf einander wirken.

Um diese Folgerung noch weiter zu bestätigen, theile man die Gypsplatte in zwei Hälften, stelle die eine derselben vor die eine und die andere vor die zweite Spalte, jedoch dergestalt, daß ihre Axen, anstatt wie zuvor, wo die Platte noch ein Ganzes bildete, parallel zu sein, jetzt auf einander senkrecht stehen. Bei dieser Anordnung ist der aus der rechten Spalte austretende regelmäßige Strahl in demselben Sinne polarisirt, wie der aus der linken Spalte austretende unregelmäßige, und eben so umgekehrt. Diese Strahlen werden also Streifen bilden; da aber ihre Geschwindigkeiten im Krystalle nicht gleich sind, so entsprechen sie nicht der Mitte des Zwischenraumes zwischen den beiden Oeffnungen. Die regelmäßigen oder die unregelmäßigen Strahlen einer Spalte würden bei ihrem Zusammentreffen mit den gleichnamigen Strahlen der anderen Spalte jener Mitte entsprechende Streifen geben können; da aber nach der angenommenen eigenthümlichen Lage der beiden Krystallstücke diese Strahlen im entgegengesetzten Sinne polarisirt sind, so vermögen sie nicht auf einander einzuwirken. Daher sieht man blos die beiden ersten Systeme getrennt durch einen gleichförmig erhellten Zwischenraum. *)

Wenn man, ohne sonst etwas an den übrigen Anordnungen des vorigen Versuches zu ändern, blos die beiden vorgesetzten Gypsplatten

*) Der Abstand zwischen den beiden Streifengruppen hängt offenbar von dem Unterschiede zwischen den Geschwindigkeiten des regelmäßigen und des unregelmäßigen Strahles ab, oder was auf dasselbe hinauskommt, von dem Unterschiede in der Zahl von Schwingungen, welche die beiden Strahlen bei ihrem Durchgange durch den Krystall vollbringen. Um diesen letztern Unterschied zu erhalten, wird es also hinreichen, mikrometrisch den zwischen den Streifen der ersten Ordnung in beiden Systemen liegenden Abstand zu messen und durch die doppelte Breite eines der Streifen zu dividiren. Kennt man nun ferner die Dicke des angewandten Krystalles und sein Brechungsvermögen, so hat man alles, was zur Berechnung des Verhältnisses der beiden Geschwindigkeiten nöthig ist; dies führt dann zu den andern Elementen der Doppelbrechung. Stellt man solche Messungen auf verschiedenen künstlichen oder natürlichen Flächen an, so wird man selbst in solchen Krystallen, wo die Doppelbrechung kaum merklich ist, das Huygens'sche Gesetz verfolgen können. So einfach diese Methode ist, kann sie doch noch in der Weise modificirt werden, daß man nicht nöthig hat, den Krystall in zwei Stücke zu theilen. Einige von uns darüber angestellte Versuche sind vollständig gelungen.

in der Weise stellt, daß ihre Axen, anstatt auf einander senkrecht zu sein, unter sich einen Winkel von 45° bilden, so bemerkt man sofort drei Systeme von Streifen; denn jedes Bündel von rechts wirkt jetzt auf die beiden Bündel von links und umgekehrt, weil ihre Polarisationsebenen nicht mehr auf einander senkrecht stehen. Man muß aber bemerken, daß das System in der Mitte das intensivste ist, und von einem vollständigen Zusammenfallen der durch Interferenz der gleichnamigen Bündel gebildeten Streifen hervorgebracht wird.

Wir kehren jetzt zu dem Apparate mit den Säulen zurück und nehmen an, daß die Einfallsebenen auf einander senkrecht stehn, wodurch die durch beide Spalten hindurchgegangenen Bündel in entgegengesetztem Sinne polarisirt werden; wir stellen ferner zwischen das Messingblättchen und das Auge einen doppeltbrechenden Krystall, dessen Hauptschnitt mit den Einfallsebenen einen Winkel von 45° macht. Nach den bekannten Gesetzen der Doppelbrechung werden sich beide durch die Säule hindurchgegangenen Strahlen im Krystalle in zwei Strahlen spalten, welche gleiche Intensität besitzen, aber in zwei auf einander senkrechten Richtungen, deren eine genau mit dem Hauptschnitte zusammenfällt, polarisirt sind. Man würde also erwarten können, bei diesem Versuche eine Reihe von Streifen wahrzunehmen, welche durch die Wirkung des rechten regelmäßigen Bündels auf das linke regelmäßige entstehen, und eben so eine zweite ganz ähnliche Reihe, welche durch die Interferenz der beiden unregelmäßigen Strahlen hervorgebracht wird. Man bemerkt indeß nicht die geringste Spur, und die vier Bündel geben bei ihrem Durchkreuzen eine ununterbrochene Helligkeit.*)

*) Wenn das zwischen die Messingplatte und das Auge gestellte Blättchen dünn wäre, und die Bilder nur wenig trennte, so würde man die Abwesenheit der Streifen durch die Annahme erklären können, daß diejenigen, welche aus der Interferenz der regelmäßigen Strahlen entständen, mit den anderen zusammenfielen, vorausgesetzt, daß man noch annähme, daß die hellen Streifen des ersten Systems den dunkeln Streifen des zweiten entsprächen und umgekehrt. Es läßt sich aber beweisen, daß diese Hypothese zur Erklärung des Phänomens nicht ausreicht, wenn man ein Kalkspathrhomboeder zwischen das Auge und den vorhergehenden Krystall stellt. In gewissen Lagen würde das Rhomboeder die beiden Streifensysteme trennen müssen,

Dieser von Arago angegebene Versuch hat uns den Beweis geliefert, daß zwei Strahlen, welche ursprünglich in entgegengesetztem Sinne polarisirt waren, später auf ein und dieselbe Polarisationsebene zurückgeführt werden können, ohne dadurch die Fähigkeit zu erlangen, auf einander einzuwirken.

Sollen zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirte und dann wieder auf gleiche Polarisationsrichtung zurückgeführte Strahlen gegenseitig auf einander einwirken, so ist nothwendig, daß sie ursprünglich von einer und derselben Polarisationsebene ausgegangen sind, wie dies aus dem von Fresnel ausgedachten Versuche, worüber wir jetzt berichten wollen, hervorgeht.

Man lasse auf ein mit der Axe paralleles Blättchen von Gyps, das von einer dünnen mit zwei Oeffnungen versehenen Messingplatte bedeckt ist, ein aus einem strahlenden Punkte ausgehendes Bündel polarisirten Lichtes senkrecht auffallen; die Axe des Gypsblättchens mache mit der ursprünglichen Polarisationsebene einen Winkel von 45°. Wie in allen ähnlichen Versuchen beobachte man den Schatten der Platte mit einer Loupe; aber dies Mal stelle man vor ihren Brennpunkt noch ein Kalkspathrhomboeder, das eine merkliche Doppelbrechung besitzt und dessen Hauptschnitt mit dem des Gypsblättchens einen Winkel von 45° bildet. Sofort entdeckt man in jedem Bilde drei Systeme von Streifen: das eine von ihnen entspricht genau der Mitte des Schattens, die beiden andern liegen rechts und links vom ersten.

Untersuchen wir jetzt, wie diese drei Streifensysteme in einem der beiden Bilder z. B. in dem regelmäßigen entstehn.

Jedes der in demselben Sinne polarisirten Bündel, welche durch die beiden Spalten gehen, theilt sich beim Durchgange durch das Gypsblättchen in zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirte Bündel. Da aber die Doppelbrechung des Blättchens unmerklich ist, so verfolgen die regelmäßigen und unregelmäßigen Theile des Bündels denselben Weg, jedoch mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

---

weil sie in entgegengesetztem Sinne polarisirt sind, und doch sieht man unter den bestgewählten Umständen keine Spur davon.

Das eine dieſer doppelten Bündel, z. B. das aus der rechten Spalte austretende, theilt ſich beim Durchgange durch das Rhomboeder in vier Bilder, in zwei regelmäßige und zwei unregelmäßige. Man ſieht aber davon ſchließlich nur zwei, weil die Beſtandtheile der gleichnamigen Bündel zuſammenfallen. Aus den bekannten Geſetzen der Doppelbrechung und den Stellungen, welche wir dem Gypsblättchen und dem Rhomboeder angewieſen haben, geht übrigens hervor, daß beim Austritte aus dem letztgenannten Kryſtalle das regelmäßige Bündel aus der Hälfte des Strahles, welcher in dem Blättchen der regelmäßige war, und aus der Hälfte des unregelmäßigen Strahles beſteht, ſo wie daß die beiden andern Hälften eben dieſer Strahlen in das unregelmäßige Bild übergehen, von dem wir dem Uebereinkommen gemäß jetzt abſehen. Auf dieſelbe Weiſe verhält ſich das aus der linken Spalte austretende Bündel. Kurz man ſieht, daß nach dem Durchgange durch die beiden Kryſtalle in dieſem neuen Apparate die regelmäßigen aus der rechten oder der linken Spalte kommenden Strahlen, einer wie der andere, aus einem Theile Licht beſtehen, welches in beiden Kryſtallen die regelmäßige Brechung erlitten hat, und aus einem zweiten Theile, der anfänglich der unregelmäßigen Brechung unterworfen geweſen iſt.

Diejenigen aus den beiden Spalten kommenden Strahlen, welche bei ihrem Durchgange durch das Gypsblättchen und das Kalkſpathrhomboeder ſtets regelmäßig gebrochen werden, durchlaufen gleiche Wege mit gleichen Geſchwindigkeiten, und müſſen folglich bei ihrem Zuſammentreffen die Entſtehung centraler Streifen veranlaſſen. Daſſelbe gilt von den Strahlen, welche als unregelmäßige durch das Gypsblättchen gegangen ſind und im Kalkſpathe die regelmäßige Brechung erlitten haben. Die Streifen in der Mitte des Schattens gehen alſo aus den Uebereinanderfallen zweier verſchiedenen Syſteme hervor.

Was nun den Theil des Lichtes der rechten Spalte betrifft, der z. B. in dem Gypsblättchen unregelmäßig gebrochen beim Durchgange durch den Kalkſpath die regelmäßige Brechung erleidet, ſo wird derſelbe im Kalkſpath einen eben ſo großen Weg durchlaufen haben, als der

Theil des Bündels der linken Spalte, welcher stets regelmäßig gebrochen wurde. Da aber diese Strahlen in dem Blättchen etwas verschiedene Geschwindigkeiten hatten, so werden die Punkte, wo sich infolge ihrer Durchkreuzung wahrnehmbare Streifen bilden, nicht der Mitte des Intervalls zwischen beiden Spalten entsprechen können, sondern nach rechts liegen, d. h. auf der entgegengesetzten Seite von dem Strahle, der, nachdem er einen Augenblick hindurch unregelmäßig gebrochen worden, sich dann am langsamsten bewegte. Endlich kommt als letzte Combination die Interferenz des Theiles des rechten Bündels, das in beiden Krystallen die regelmäßige Brechung erlitten, mit dem Theile des linken Bündels, das in dem Blättchen unregelmäßig und in dem Rhomboeder regelmäßig gebrochen worden; sie erzeugt die links vom Centrum gelegenen Streifen.

Wir haben so eben den Gang der Strahlen, welche zu der Bildung der drei Systeme von Streifen in dem beschriebenen Bilde beitragen, erklärt, und man hat bemerken können, daß die rechts und links liegenden Systeme aus der Interferenz von anfänglich in dem Gypsblättchen in entgegengesetztem Sinne polarisirten und dann durch die Wirkung des Kalkspaths auf eine und dieselbe Polarisationsrichtung zurückgeführten Strahlen hervorgehen. Zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirt gewesene und später auf einerlei Polarisationsebene zurückgeführte Strahlen können also bei ihrem Durchkreuzen Streifen geben, wofern (dies ist unbedingt nothwendig) sie ursprünglich in demselben Sinne polarisirt gewesen sind.

Wir haben bis jetzt noch nicht von der gegenseitigen Einwirkung der beiden Bündel geredet, welche in dem Kalkspathe die unregelmäßige Brechung erleiden. Diese Bündel liefern ebenfalls drei Systeme von Streifen, die aber von den ersten getrennt sind. Wenn man jetzt, während alles in demselben Zustande bleibt, an die Stelle des Rhomboeders eine Gyps- oder Bergkrystallplatte setzt, welche keine zwei getrennten Bilder erzeugt, so werden die sechs Systeme anstatt durch ihr Uebereinanderlegen drei hervorzubringen, sich auf das in der Mitte liegende reduciren. Dieses merkwürdige Resultat beweist: 1) daß die aus der Interferenz der regelmäßigen Strahlen resultirenden Streifen

zu den aus den unregelmäßigen hervorgehenden complementär sind und 2) daß diese beiden Systeme wechselseitig eine solche Lage haben, daß ein heller Streifen des ersten Systems einem dunkeln des zweiten entspricht und umgekehrt. Ohne diese beiden Bedingungen würde man nicht eine gleichförmige und ununterbrochene Helligkeit zu beiden Seiten der Centralstreifen antreffen können. Man findet also hier, eben so wie bei dem Phänomen der farbigen Ringe, den Unterschied von einer halben Wellenlänge wieder.

Die im Vorhergehenden berichteten Versuche führen also schließlich zu nachstehenden Folgerungen:

1) Unter denselben Umständen, wo zwei Strahlen des gewöhnlichen Lichtes sich wechselsweise zu zerstören scheinen, üben zwei unter rechten Winkeln oder in entgegengesetztem Sinne polarisirte Strahlen keine wahrnehmbare Wirkung auf einander aus.

2) Strahlen von gleicher Polarisationsrichtung wirken auf einander wie natürliche Lichtstrahlen, so daß bei diesen beiden Lichtgattungen die Interferenzphänomene absolut dieselben sind.

3) Zwei ursprünglich in entgegengesetztem Sinne polarisirte Strahlen können später auf eine und dieselbe Polarisationsebene zurückgeführt werden, ohne dabei die Fähigkeit auf einander zu wirken zu erlangen.

4) Zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirte und dann auf dieselbe Polarisationsebene zurückgeführte Strahlen wirken auf einander wie natürliche Strahlen, wenn sie aus einem ursprünglich in einerlei Richtung polarisirtem Lichtbündel stammen.

5) Bei den durch Strahlen, welche die Doppelbrechung erlitten haben, erzeugten Interferenzphänomenen wird die Lage der Streifen nicht blos durch den Unterschied der Wege und Geschwindigkeiten bestimmt; unter einigen Umständen, die wir angeführt haben, muß man außerdem noch einen Unterschied von einer halben Wellenlänge in Rechnung ziehen.

Alle diese Gesetze ergeben sich, wie man sieht, aus directen Versuchen. Man würde einfacher zu denselben gelangen können, wenn

man von den Phänomenen ausginge, welche die krystallisirten Blättchen zeigen. Man müßte dann aber bereits darüber einverstanden sein, daß die Farben, welche sich auf diesen Blättchen zeigen, wenn man sie durch ein polarisirtes Lichtbündel erleuchtet, aus der Interferenz mehrerer Wellensysteme hervorgehen. Die von uns gegebenen Beweisführungen haben den Vortheil, dieselben Gesetze unabhängig von jeder Hypothese festzustellen.

Abhandlung über die Mittel, die meisten photometrischen Fragen zu lösen, zu welchen die Entdeckung der Lichtpolarisation Veranlassung gegeben hat.

Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 5. August 1833. *)

Seit einem drittel Jahrhundert hat die Optik glänzende und unerwartete Fortschritte gemacht. Ein einziger Zweig dieser Wissenschaft, derjenige nämlich, welcher die Messung der Intensitäten behandelt und mit dem Namen Photometrie bezeichnet wird, ist fast stationär geblieben.

Die Photometrie ist im Schooße dieser Akademie entstanden. Ihre allgemeinsten Principien wurden von Bouguer in einer kleinen 1729 in 12° erschienenen Schrift dargelegt. Man findet sie mit größerer Ausführlichkeit in der 1760 nach des Verfassers Tode von Lacaille besorgten Ausgabe desselben Werkes wieder. Lambert's Arbeit über den-

*) Diese Abhandlung, welche sich hauptsächlich auf das Gesetz des Cosinusquadrats bezieht, wodurch die Intensität des aus einem doppeltbrechenden Krystalle austretenden regelmäßigen Strahles bestimmt wird, ist bis jetzt noch nicht veröffentlicht worden; sie war der gelehrten Welt nur durch den kurzen Abriß bekannt, welchen Babinet im zweiten Theile seiner Uebersetzung der Herschel'schen Optik gegeben hat. Man findet diesen Abriß in dem Anhange, welcher diesen Band beschließt. Er ist darin aufgenommen worden, weil Arago ihn als wichtig zur Feststellung des Zeitpunktes betrachtet hat, wie er in der gleich folgenden ersten Abhandlung über die Photometrie ausspricht.

ſelben Gegenſtand würde Nichts zu wünſchen übrig gelaſſen haben, wenn ſcharfſinnige analytiſche Kunſtgriffe in der Discuſſion der Beobachtungen die Genauigkeit der experimentellen Data erſetzen könnten.

Seit Bouguer's und Lambert's Werken hat die Wiſſenſchaft nur noch eine geringe Zahl von numeriſchen Beſtimmungen aufzuweiſen, welche von Rumford und Herſchel herrühren. Es war indeß für Jedermann offenbar, daß die Photometrie ſich noch in ihrer Kindheit befand. Ich erinnere mich in der That einer Zeit, wo auf Laplace's Wunſch die Akademie ſelbſt geneigt ſchien, als mathematiſch-phyſikaliſche Preisaufgabe die Ausführung zahlreicher Verſuche, von denen man in Bouguer's Werken nur den Entwurf findet, aufzuſtellen.

Ich glaubte ſeit langer Zeit, man müſſe den Verſuch wagen, dieſe Lücke in der Optik auszufüllen, und wäre es auch nur wegen der vielfachen Hülfen, welche die Aſtronomie von photometriſchen Methoden wird entlehnen können, ſobald letztere eine hinreichende Genauigkeit erlangt haben.

Dieſe ſo wünſchenswerthe Genauigkeit beſitzen die von Bouguer und Lambert gewählten Verfahren nicht. Man vergleiche in der That die von dieſen beiden berühmten Akademikern erhaltenen Reſultate, wo ſie dieſelben Fragen behandeln, und man wird über die außerordentlichen Differenzen, welche ſie darbieten, erſtaunt ſein. Es genügt übrigens eine einzige Bemerkung, um das Unvollkommene der genannten Verfahren zu erkennen. Lambert und Bouguer haben beide die Lichtbündel mehrfachen Reflexionen und Brechungen unterworfen, ohne zu merken, daß nach einer erſten Zurückwerfung, eben ſo wie nach einer erſten Brechung die Strahlen neue Eigenſchaften erlangt haben, nämlich die beſonderen Eigenſchaften, welche das polariſirte Licht vom gewöhnlichen Lichte unterſcheiden und vorzugsweiſe durch Intenſitätserſcheinungen ſich kund geben.

Um mit einiger Ausſicht auf Erfolg ſich photometriſchen Verſuchen zu widmen, mußte man entweder neue Meſſungsverfahren aufſuchen, oder die alten vervollkommnen. Dies iſt in der That der Weg, den ich verfolgt habe. Die Abhandlung, welche ich die Ehre haben werde, der Akademie jetzt mitzutheilen, bezieht ſich auf die

Methoden, die ich zur Lösung zahlreicher photometrischer Fragen, welche die Entdeckung des polarisirten Lichtes hervorgerufen hat, ausgedacht habe.

Ueber das Gesetz, nach welchem sich ein polarisirter Lichtstrahl zwischen dem regelmäßigen und unregelmäßigen Bilde theilt, wenn er durch einen doppelbrechenden Krystall geht.

Das gewöhnliche, gemeine oder natürliche Licht theilt sich bei seinem Durchgange durch doppelbrechende Krystalle, wie Kalkspath, Bergkrystall u. s. w. in zwei Bündel von gleicher Intensität.

Im Gegensatz dazu existirt eine Lichtgattung, welche bei gewissen Lagen desselben Krystalles nur ein Bild, und zwar bald das regelmäßige, und bald das unregelmäßige gibt, während sie in allen übrigen Lagen zwei an Intensität mehr oder weniger ungleiche Bilder liefert.

Das Licht, welches die Eigenschaft, sich bei seinem Durchgange durch einen Kalkspath stets in zwei Bündel zu spalten verloren hat, nennt man polarisirtes Licht.

Es sei F die Intensität eines polarisirten Bündels. Gesetzt beim Durchgange durch einen passend gestellten Kalkspathkrystall gehe dieses Bündel vollständig in das regelmäßige Bild über. Sobald man den Krystall nur sehr wenig von dieser ersten Lage entfernt, indem man ihn um den einfallenden Lichtstrahl dreht, beginnt das unregelmäßige Bild sichtbar zu werden. Setzt man die Drehung fort, so wächst das neue Bild fortwährend an Glanz und Helligkeit; ist endlich der Krystall um 45° gedreht, so werden das regelmäßige und das unregelmäßige Bündel genau dieselbe Intensität besitzen; jedes derselben besteht aus der Hälfte der einfallenden Strahlen.

Von der ursprünglichen Lage an bis zu einer Drehung von 45° war stets das regelmäßige Bild heller als das unregelmäßige. Von 45° bis 90° tritt das Entgegengesetzte ein. Bei dieser letzteren Grenze ist das regelmäßige Bild vollständig verschwunden, und das allein übrig bleibende unregelmäßige hat sämmtliches Licht in sich aufgenommen.

Während der Drehung des Krystalles geht also das unregelmäßige Bild succeſſive durch alle zwiſchen 0 und F liegenden Werthe. Eine bloße Drehungsbewegung um 90° gibt folglich eine Skale allmälich von 0 bis zu der natürlichen Intenſität des unterſuchten Bündels wachſender Intenſitäten. Es fragt ſich nun, nach welchem Geſetze erfolgen dieſe Veränderungen.

Bezeichnet i den Winkel, um welchen der Kryſtall von der urſprünglichen Lage aus, wo angenommenermaßen nur das regelmäßige Bild vorhanden war, gedreht iſt, ſo nahm Malus an, daß die Intenſität des gewöhnlichen Bildes durch die Formel $F \cos^2 i$ dargeſtellt werde. Der Reſt der einfallenden Lichtmenge F, nämlich $F - F \cos^2 i = F(1 - \cos^2 i) = F \sin^2 i$ würde alſo die Intenſität des unregelmäßigen Lichtbündels geben. Dieſer Ausdruck wird 0, wenn $i = 0°$; er wird F, wenn $i = 90°$, und $\frac{1}{2} F$, wenn $i = 45°$, weil $\sin 45° = \sqrt{\frac{1}{2}}$. Sonach ſtimmt alſo der Ausdruck $F \sin^2 i$ an beiden Grenzen und in dem mittleren Punkte mit dem Reſultate des Verſuchs überein. Indeß genügt dies nicht, uns zu dem Ausſpruche zu berechtigen, daß die Formel allgemein richtig ſei. Der Beweis eines phyſikaliſchen Geſetzes darf ſich nicht blos auf die Betrachtung der extremen Fälle ſtützen.

Die Kenntniß des Geſetzes, nach welchem die polariſirten Strahlen aus dem regelmäßigen Bilde in das unregelmäßige übergehen, würde nicht blos in theoretiſcher Beziehung äußerſt wichtig ſein, ſondern auch zur Löſung zahlreicher, ſehr wichtiger aſtronomiſcher Fragen führen.

Geſetzt z. B. man wollte die Lichtſtärke des Theiles vom Monde, welchen die Sonnenſtrahlen direct beleuchten, mit der Lichtſtärke des Theiles auf demſelben Geſtirne vergleichen, welcher nur die von der Erde reflectirten Strahlen empfängt, und als aſchfarbener Theil bezeichnet wird. Wäre das in Frage ſtehende Geſetz bekannt, ſo würde man in folgender Weiſe zu verfahren haben.

Nachdem man das Licht des Mondes mittelſt irgend einer der bekannten Methoden polariſirt hätte, würde man es durch einen doppeltbrechenden Kryſtall gehen laſſen, der ſo geſtellt wäre, daß die Strahlen ſich darin nicht ſpalten könnten, ſondern ſämmtlich die regelmäßige

Brechung erlitten. Ein hinter den Kryſtall geſtelltes Fernrohr würde alſo nur ein Bild unſeres Satelliten zeigen; ſobald man aber den Kryſtall durch Drehen in ſeiner eigenen Ebene aus der urſprünglichen Lage entfernte, würde das zweite Bild hervortreten und in ſeiner Helligkeit allmälich wachſen. Man würde die Bewegung des Kryſtalles in dem Punkte anhalten, wo in dem entſtehenden unregelmäßigen Bilde das von der Sonne beleuchtete Segment des Mondes dieſelbe Helligkeit erreicht hätte, welche der aſchfarbene Theil in dem regelmäßigen Bilde beſitzt. Man ſieht leicht, daß von dieſem Augenblicke an die Aufgabe vollſtändig gelöſt ſein würde.

Denn wenn man durch F und F′ die natürlichen Intenſitäten des Mondlichtes und des aſchfarbenen Lichtes darſtellt, ſo werden nach einer Drehung des Kryſtalls um i dieſe Intenſitäten auf dem regelmäßigen Bilde $F \cos^2 i$ und $F' \cos^2 i$ ſein. In dem unregelmäßigen Bilde würde man beziehlich $F \sin^2 i$ und $F' \sin^2 i$ erhalten. Ich habe nun angenommen, daß zufolge der Beobachtung bei dem Winkel i die Gleichheit der betreffenden Bilder eingetreten ſei. Man hat alſo

$$F' \cos^2 i = F \sin^2 i,$$

das Verhältniß $\frac{F'}{F}$ des aſchfarbenen Lichtes zum Mondlichte iſt alſo gleich $\frac{\sin^2 i}{\cos^2 i}$.

Ich habe dieſen Verſuch mit dem erſten Polariſationsapparate, der mir in die Hände fiel, angeſtellt, und zwar mit Erfolg. Indeß will ich das numeriſche Reſultat, ſo auffallend es auch erſcheinen müßte, nicht anführen, weil die Formel $F \cos^2 i$ nur noch hypothetiſch iſt. Meine Abſicht war blos hier zu ſagen, daß ich hoffe, man würde mit einem vervollkommneten Apparate, ähnlich demjenigen, von welchem ich in kurzer Zeit erwarte Gebrauch machen zu können, hinreichend kleine Aenderungen in der Intenſität des aſchfarbenen Lichtes zu ſchätzen im Stande ſein; diejenigen z. B., welche von dem Unterſchiede zwiſchen dem Reflexionsvermögen des feſten Theiles unſerer Erde im Verhältniſſe zu dem flüſſigen herrühren können; beſonders aber diejenigen, welche von dem mehr oder weniger wolkigen Zuſtande der Erdatmoſphäre abhängen müſſen. Es iſt alſo trotz alles

Erſtaunens, das ein ſolches Reſultat hervorrufen muß, nicht unmöglich, daß einſt die Meteorologen ſich anſchicken, aus dem Anblicke des Mondes werthvolle Angaben über die mittlere Durchſichtigkeit der Erdatmoſphäre in denjenigen Halbkugeln, welche ſucceſſive zur Erzeugung des aſchfarbenen Lichtes beitragen, zu entnehmen.

Für diejenigen, welche den Werth der wiſſenſchaftlichen Theorien nur nach Verhältniß der Anwendungen, welche ſie jetzt liefern können, beurtheilen, will ich eine andere Gattung aſtronomiſcher Beobachtungen anführen, deren Vervollkommnung mir ebenfalls mit der Kenntniß des Polariſationsgeſetzes, welches den Gegenſtand dieſer Abhandlung ausmacht, verbunden zu ſein ſcheint.

Wenn ein Mond des Jupiter in den Schattenkegel eintritt, welchen der Planet auf die der Sonne entgegengeſetzte Seite wirft, ſo nimmt ſein Licht allmälich ab. Es gibt nun einen beſtimmten Grad von Schwächung dieſes Lichtes, bei welchem es auf unſer Auge keinen merklichen Eindruck mehr macht; in dieſem Augenblicke verſchwindet der Satellit. Selbſt wenn wir alſo von der ſucceſſiven Fortpflanzung des Lichtes abſtrahiren, müſſen wir das wahre Verſchwinden von dem ſcheinbaren unterſcheiden. In dem Augenblicke, wo dies letzte Verſchwinden von der Erde aus beobachtet wird, gibt es noch ein nicht verfinſtertes Segment auf der Scheibe des Satelliten; jeder wird einſehen, daß dies Segment veränderlich und abhängig ſein muß von der Intenſität des Lichtes des Mondes, von der Stärke der Fernröhre und von dem mehr oder weniger ſcharfen Geſichte des Aſtronomen. Dieſe Umſtände werfen auf alle Beobachtungen eine Unſicherheit, welche man nur zu ſehr wahrnimmt, wenn man die Ein- oder Austritte der Monde discutirt, um allgemeine Tafeln daraus herzuleiten. Es iſt nun in jedem Falle möglich, den Augenblick des wahren Verſchwindens aus dem des ſcheinbaren herzuleiten, wenn dies letztere Verſchwinden mehrere Male hinter einander von demſelben Aſtronomen und an dem künſtlich in beſtimmten Verhältniſſen geſchwächten Satelliten beobachtet worden iſt.

Dieſe ſcharfſinnige Bemerkung rührt von dem ehemaligen Secretär der Akademie der Wiſſenſchaften Grandjean de Fouchy her. Die Anwendung gehört Bailly und unter allen ſeinen Arbeiten glaubte

dieſer Gelehrte am meiſten auf dieſe rechnen zu können, um ein Andenken bei der Nachwelt zu verdienen.*) Bailly benutzte, um die Monde zu ſchwächen, kreisförmige Oeffnungen von immer kleinern Durchmeſſern, und bedeckte damit ſucceſſive das Objectiv ſeines Fernrohrs. Dieſe Methode unterliegt aber einem ſehr ernſtlichem Bedenken, das bis jetzt noch nicht hervorgehoben worden iſt. Das Diaphragma ändert, beſonders wenn es klein iſt, nicht blos die Intenſität des Satelliten, ſondern auch ſeine Form; es gibt ihm eine ſehr merkliche runde, wohlbegränzte und von einer Reihe heller und dunkler Ringe umgebene Scheibe. Wer würde nun zu behaupten wagen, daß die Sichtbarkeit eines ſo auseinander gebreiteten Lichtes dieſelbe iſt, als wo dieſes Licht in einem Punkte ohne merkliche Ausdehnung concentrirt war?

Bedient man ſich zu Abſchwächung des Lichtes der Satelliten der Drehung eines doppeltbrechenden Kryſtalles, ſo hat man nicht nöthig, die Oeffnung des Objectivs abzuändern. Mit Ausnahme der Intenſität werden die Bilder ſtets einander ähnlich bleiben, und keine Schwierigkeit wird der Anwendung einer Methode hemmend entgegen treten, welche den Tafeln für den 2., 3. und 4. Jupitersmond eine unerwartete Genauigkeit zu geben vermag.

Die vorſtehenden Details werden genügen, um den ganzen Nutzen eines Geſetzes, wie es auch lauten möge, klar zu machen, das die Intenſitäten des regelmäßigen und unregelmäßigen Strahles verknüpft. In Betreff der Schwierigkeit, die es haben würde, daſſelbe durch die bekannten photometriſchen Verfahren zu verificiren, reicht es hin, anzuführen, daß Malus, Fresnel, Biot, Brewſter und Herſchel, denen die Wichtigkeit des Problems ſicher nicht entgangen war, ſelbſt nicht den Verſuch zu ſeiner Löſung gewagt haben. Auch wird in dieſer Abhandlung von den üblichen Verfahrungsweiſen nicht die Rede ſein. Die von mir vorgeſchlagene Methode iſt vollſtändig neu, und außerdem merkwürdig durch den paradoxen Umſtand, daß die Vergleichung des regelmäßigen und des unregelmäßigen Bildes geſchieht, ohne daß man nöthig gehabt hätte, dieſe beiden Bilder jemals zu trennen; ja

*) Vergl. Bd. II. S. 212.

die Methode fordert sogar, daß die beiden Bündel stets vereinigt bleiben, daß ihr Zusammenfallen fast mathematisch genau statt habe; und dennoch gestattet sie eine sehr leichte Ausführung. Die ganze Schwierigkeit besteht darin, sie verständlich zu machen, und dies liegt in der großen Zahl von wenig bekannten Eigenschaften, welche sie voraussetzt und welche von mir successive jetzt namhaft gemacht werden sollen.

Ich habe im Anfange von einem polarisirten Strahle geredet, der bei seinem Durchgange durch einen doppeltbrechenden Krystall sich nicht spaltete, und bei seinem Austritte nur ein regelmäßiges Bild lieferte. Der Strahl hätte aber auch in der Weise polarisirt sein können, daß er beim Durchgange durch denselben Krystall nur ein unregelmäßiges Bild gegeben hätte.

Man sagt von zwei polarisirten Lichtstrahlen, welche beim Durchgange durch denselben Krystall ausschließlich der eine die regelmäßige, der andere die unregelmäßige Brechung erleiden, daß sie rechtwinklig oder in entgegengesetztem Sinne polarisirt seien. Dies ist z. B. der Fall bei den beiden Lichtbündeln von gleicher Intensität, in welche sich das gewöhnliche Licht bei seinem Durchgange durch einen doppeltbrechenden Krystall spaltet.

Die Mischung zweier in entgegengesetztem Sinne polarisirten Lichtstrahlen von gleicher Intensität besitzt alle Eigenschaften des natürlichen Lichtes; sonach gibt sie beim Durchgange durch irgend einen Krystall stets zwei gleich helle Bilder. Nichts ist übrigens leichter, als eine solche Mischung herzustellen: es genügt ein hinreichend dünner Krystall, welcher die beiden Bündel nicht merklich trennt. Was für einen Krystall man auch benutzen möge, jedenfalls ist es zweckmäßig, nach einem hinreichend ausgedehnten Objecte von gleichförmiger Helligkeit zu visiren und seine Versuche an den die Mitte des Gesichtsfeldes einnehmenden Strahlen auszuführen.

Es gibt Strahlen, welche Eigenschaften besitzen, die zwischen den Eigenschaften des gewöhnlichen und des vollständig polarisirten Lichtes so zu sagen in der Mitte liegen. Man unterscheidet diese Strahlen von dem polarisirten Lichte im eigentlichen Sinne durch die Eigenschaft, sich beim Durchgange durch einen Kalkspath stets in zwei Bündel zu theilen. Andererseits unterscheiden sie sich von dem gewöhnlichen

Lichte dadurch, daß die beiden entstehenden Strahlen nicht bei allen Lagen des zu ihrer Analyse dienenden Krystalles beständig dieselbe Intensität behalten. Diese neue Lichtgattung hat den Namen partiell polarisirtes Licht erhalten.

Mischte man einen Theil A vollständig polarisirten Lichtes mit einem Theile B natürlichen Lichtes, so würde man ein Lichtbündel erhalten, welches die zuvor erwähnten charakteristischen Eigenschaften des partiell polarisirten Lichtes besäße; denn bei seinem Durchgange durch einen doppeltbrechenden Krystall würde sich der Theil B stets zwischen dem regelmäßigen und dem unregelmäßigen Bilde halbiren, während dagegen der Theil A je nach der Lage des Krystalls entweder ganz in das regelmäßige oder ganz in das unregelmäßige Bild überginge. Sonach würde in gewissen Fällen von diesen Bildern das eine die Lichtmenge $^1/_2$ B + A und das andere $^1/_2$ B enthalten.

In anderen Fällen würde das erste Bild, das ich zuvor als das hellste angenommen habe, um dieselbe Größe A schwächer werden. Den Zwischenlagen des angewandten Krystalles endlich würden zwei Lichtbündel entsprechen, deren Unterschied stets kleiner wäre als A, oder die selbst gar keinen darböten. Dies sind, wie man sieht, genau die bekannten Eigenschaften des partiell polarisirten Lichtes.

Wir haben vorhin durch die Mischung zweier rechtwinklig auf einander polarisirten Lichtbündel von gleicher Intensität Licht dargestellt, das in Bezug auf die Doppelbrechung die Eigenschaften der gewöhnlichen Strahlen zeigte. Gesetzt nun, diese beiden zusammenfallenden polarisirten Strahlen hätten ungleiche Intensitäten, so würde die Mischung uns partiell polarisirtes Licht geben. Wären A und A + a die respectiven Intensitäten der beiden polarisirten Bündel, so würde die Mischung offenbar einer Combination von 2 A neutralen Lichtes mit a polarisirtem Lichte entsprechen.

Das partiell polarisirte Licht kann auf den Zustand von neutralem Lichte zurückgeführt werden, wenn man es durch eine Säule aus Glasplatten gehen läßt.

Um zu neutralem Lichte zu gelangen, muß die Säule unter einem um so spitzern Winkel durchdrungen werden, je mehr das der Prüfung unterworfene Bündel sich von dem Zustande gewöhnlichen Lichtes

entfernt, oder was daſſelbe heißt, ein je größerer Verhältnißtheil polariſirten Lichtes darin exiſtirt.

Die Reflexion auf einem Spiegelglaſe mit parallelen Flächen iſt ein Mittel, das Licht zu polariſiren. Unter einem gewiſſen Winkel iſt die Polariſation vollſtändig, unter allen übrigen nur partiell; nur bei ſenkrechter Incidenz findet ſich keine Spur von Polariſation.

Der durch eine Glasplatte hindurch gegangene Strahl iſt eben ſo wie der reflectirte polariſirt; die Richtungen dieſer beiden Polariſationen ſtehen aber ſenkrecht auf einander.

Der Unterſchied in der Intenſität des von einem doppeltbrechenden Kryſtalle gelieferten regelmäßigen und unregelmäßigen Lichtbündels iſt nicht das einzige, ſogar nicht das beſte Mittel, um gemeines Licht von partiell polariſirtem zu unterſcheiden.

Wenn ein vollſtändig polariſirtes Lichtbündel ſenkrecht durch gewiſſe Kryſtallplatten z. B. durch eine ſenkrecht auf die Kanten des ſechsſeitigen Prismas geſchnittene Bergkryſtallplatte von 5 bis 6 mm. Dicke hindurchgeht, ſo verliert es einige ſeiner früheren Eigenſchaften und erlangt andere nicht weniger merkwürdige.

Nachdem das Bündel aus der Platte ausgetreten iſt, verhält es ſich wieder, wie das gewöhnliche Licht, wenigſtens in der Hinſicht, daß es beim Durchgange durch einen doppelt brechenden Kryſtall ſtets zwei Bilder gibt; nur ſind dieſe beiden Bilder nicht mehr weiß, und die lebhaften Farben, womit ihre Fläche glänzt, ändern die Schärfe der Umriſſe nicht.

Wenn man den doppeltbrechenden Kryſtall um ſich ſelbſt dreht, ſo geht das regelmäßige Bild ſucceſſive bei jeder Vierteldrehung durch die ganze Reihe der prismatiſchen Farben hindurch. Die Aenderungen des unregelmäßigen Bildes hängen mit den vorhergehenden durch die Bedingung zuſammen, daß die beiden Bilder ſtets complementär ſind; wenn alſo das erſte Bild roth iſt, erſcheint das zweite grün, und umgekehrt.

Zwei rechtwinklig polariſirte Lichtbündel unterſcheiden ſich leicht von einander, wenn man ſie bei ihrem Austritte aus der Bergkryſtallplatte mit einem doppeltbrechenden Kryſtalle analyſirt. Wenn in einer gewiſſen Lage dieſes Kryſtalles das regelmäßige Bild des einen

jener Lichtbündel roth ist, so wird das unregelmäßige Bild des andern complementär, also grün gefärbt sein. Man kann allgemein sagen, daß die Farbe des regelmäßigen Bildes des einen jener Lichtbündel in jeder Lage des Krystalles der Farbe des außerordentlichen Bildes des anderen gleich ist.

Da jedes partiell polarisirte Lichtbündel als aus neutralem Lichte und einer gewissen Menge vollständig polarisirten Lichtes zusammengesetzt betrachtet werden kann, so wird es nach seinem Durchgange durch eine Bergkrystallplatte von 5 bis 6^{mm} Dicke die verschiedenen zuvor beschriebenen Erscheinungen hervorbringen. Nur werden die vom polarisirten Lichte herrührenden Farben infolge ihres Zusammenfallens mit den beiden ungefärbten und gleich hellen Bildern, welche das neutrale Licht erzeugt, sehr geschwächt erscheinen.

Wie sich von selbst versteht, wird die eben erwähnte Schwächung um so stärker sein, je geringer die Menge des polarisirten Lichtes in dem gesammten Lichtbündel ist.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß Lichtbündel, welche Bilder von anscheinend gleichen Intensitäten liefern, und also zur Klasse des neutralen Lichts gezählt werden würden, noch merklich gefärbte Bilder geben, wenn man sie der Wirkung einer Bergkrystallplatte von 5 bis 6^{mm} Dicke unterwirft.

Mit einer solchen Platte muß es also möglich sein, ein Instrument herzustellen, welches das Vorhandensein partiell polarisirter Strahlen selbst da noch entdecken läßt, wo die directe Vergleichung der Bilder nichts mehr anzeigen würde.

Ich lasse hier die Einrichtung folgen, welche ich ausgewählt und seit einer langen Reihe von Jahren benutzt habe.*)

An das Ende eines inwendig geschwärzten messingenen Rohres bringe ich eine Bergkrystallplatte an, und bedecke sie mit einer kreisförmigen Oeffnung. Eine zweite Röhre, welche sich mit einem Falz in der ersten wie der Ocularauszug eines Fernrohres verschieben läßt, ist an dem vorderen Ende, wo das Auge des Beobachters seinen Platz

*) Das hier beschriebene Instrument hat den Namen Polariskop von Arago erhalten. Vgl. populäre Astron. Bd. 12. S. 92.

findet, mit einem achromatisirten Bergkrystallprisma geschlossen. Dies Prisma zeigt zwei Bilder der Oeffnung, welche nothwendig, je nach der geringern oder größern Länge der Röhre mehr oder weniger übereinander fallen. Gewöhnlich verlängere ich die Röhren so weit, daß das Gesichtsfeld wie in Fig. 1 erscheint.

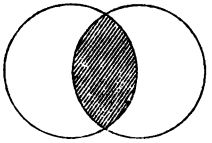


Fig. 1. — Gesichtsfeld im Polariskop.

Sobald das Bündel, welches man mit diesem Apparate analysirt, einige polarisirte Strahlen enthält, erscheinen die beiden Lunulä complementär gefärbt. Ihre Färbung ist meines Dafürhaltens das feinste Merkmal, das ich bis jetzt habe auffinden können, um die schwächst polarisirten Strahlen von neutralem Lichte zu unterscheiden.

In der nachfolgenden Weise bin ich endlich zu einem allgemeinen Princip gelangt, auf das meine photometrische Methode sich ganz und gar stützt.

Die Menge (man möge bemerken, daß ich nicht sage das Verhältniß) von vollständig polarisirtem Lichte, welche einen Theil des partiell durch Reflexion polarisirten Bündels ausmacht und die Menge von rechtwinklig polarisirtem Lichte, das in dem unter demselben Winkel durchgelassenen Bilde enthalten ist, sind einander genau gleich.

Das unter demselben Winkel von einer Glasplatte mit parallelen Flächen reflectirte und das durchgelassene Bündel haben im Allgemeinen sehr verschiedene Intensitäten, und doch wird zufolge des eben ausgesprochenen Princips, wenn man mit einem doppeltbrechenden Krystalle zuerst das reflectirte und dann das durchgelassene Bündel untersucht, der größte Unterschied zwischen den Intensitäten des regelmäßigen und unregelmäßigen Bildes in beiden Fällen derselbe sein, weil dieser größte Unterschied genau der Menge polarisirten Lichtes gleich ist, das in dem analysirten Lichtbündel sich mit gemeinem Lichte gemengt findet. (S. 128). Diese Vergleichung der von dem reflectirten und

dem durchgelaſſenen Lichtbündel gelieferten Bilder, dieſer gleiche Unterſchied zweier Bündel von gänzlich verſchiedenen Intenſitäten würde ſo ſchwierig feſtzuſtellen ſein, daß man ſelbſt nicht einen Augenblick daran denken kann, auf dieſem Wege die Richtigkeit des Geſetzes nachzuweiſen. Ich laſſe hier deshalb eine indirecte Methode folgen, welche ſehr einfach und mit aller wünſchenswerthen Genauigkeit zum Ziele führt.

Geſetzt ein Strahl vollſtändig polariſirten Lichtes F falle ſenkrecht auf eine doppeltbrechende Platte, deren Hauptſchnitt einen bekannten Winkel i mit der Polariſationsebene des Strahls bilde. Es beſitze ferner die doppeltbrechende parallel mit der Are des ſechsſeitigen Prismas geſchnittene Platte eine zu geringe Dicke, um die beiden durchgelaſſenen Strahlen zu trennen. Wenn nun das Geſetz des Coſinusquadrats richtig iſt, ſo wird die Intenſität des regelmäßigen Bildes genau $= F \cos^2 i$ ſein, während die des unregelmäßigen $F - F \cos^2 i = F \sin^2 i$ wird. Beide Bilder, das regelmäßige und das unregelmäßige, ſind aber rechtwinklig zu einander polariſirt und man weiß, daß gleiche Mengen unter rechten Winkeln polariſirten Lichtes natürliches Licht erzeugen. Es gibt alſo in dem durchgelaſſenen Strahle $2 F \sin^2 i$ natürlichen Lichts*); folglich bleibt an polariſirten Lichte nur übrig $F - 2 F \sin^2 i = F \cos^2 i + F \sin^2 i - 2 F \sin^2 i = F (\cos^2 i - \sin^2 i) = F \cos 2 i$. Das Verhältniß des polariſirten Lichtes zu dem geſammten Lichte iſt daher

$$\frac{F \cos 2 i}{F} = \cos 2 i.$$

Andererſeits weiß man aber, daß die abſolute Menge des in einem reflectirten Bündel enthaltenen polariſirten Lichtes gleich iſt der abſoluten Menge des im durchgegangenen Bündel enthaltenen polariſirten Lichtes. Wenn man alſo z. B. das reflectirte Bündel zwei Mal intenſiver annimmt, als das durchgelaſſene, ſo wird das Verhältniß des im erſten Bündel enthaltenen polariſirten Lichtes die Hälfte von dem Verhältniſſe des polariſirten Lichtes im andern ſein.

*) Dies gilt ſelbſtverſtändlich nur für Winkel, welche kleiner ſind, als 45°. Anmerk. d. d. Ausg.

Da das partiell polarisirte Licht in den Zustand des gemeinen Lichtes mittels des Durchgangs durch eine Säule aus Glasplatten zurückgeführt werden kann, wobei diese Säule um so mehr geneigt werden muß, je stärker das untersuchte Bündel polarisirt ist, so wird man mit einer gewissen Säule von Glasplatten zuerst die Neigung aufsuchen können, welche das reflectirte Bündel, und sodann diejenige, welche das durchgelassene Bündel neutralisirt. Wenn nun die erste Neigung einem Verhältnisse an polarisirtem Lichte $= \alpha$ entspricht, so wird die andere einem Verhältnisse an polarisirtem Licht $= 2\,\alpha$ entsprechen.

Dies vorausgeschickt, stellen wir jetzt die Säule unter die erste Neigung, schalten zwischen sie und eine reflectirende Ebene, welche das Licht vollständig polarisirt, ein krystallisirtes Blättchen von geringer Dicke, das die beiden Bündel nicht trennt, in solcher Lage ein, daß es nur ein regelmäßiges Bild geben würde. Denken wir uns nun ferner, daß das Licht dann durch eine Bergkrystallplatte und ein doppeltbrechendes Prisma zu dem Auge des Beobachters gelange, und drehen den ganzen Apparat um die Gesichtslinie bis zu dem Punkte, wo jede Spur von Farbe verschwunden sein wird. Der dabei durchlaufene Winkel sei i. Diesem i entspricht ein Verhältniß polarisirten Lichtes α, und nach dem, was wir zuvor gesehen, hat man, wenn das Gesetz des Cosinusquadrates richtig ist:

$$\alpha = \cos 2\,i.$$

Verfahren wir mit der zweiten Neigung in gleicher Weise. Das Licht wird neutral werden, wenn der Apparat um einen kleinern Winkel i′ gedreht ist; für diesen Winkel hat man, die Richtigkeit des Gesetzes vorausgesetzt:

$$2\,\alpha = \cos 2\,i'.$$

Man schließt daraus

$$\cos 2\,i' = 2\cos 2\,i,$$

eine numerische Folgerung, die leicht zu verificiren ist.

Erſte Abhandlung über Photometrie.

Experimenteller Beweis des Geſetzes des Coſinusquadrats.

Geleſen in der Akademie der Wiſſenſchaften am 18. März 1850. *)

I.

Der ſchlechte Zuſtand meiner Geſundheit und die ſtarke Verſchlimmerung, welche die Sehkraft meiner Augen faſt plötzlich betroffen, haben in mir den Wunſch rege gemacht, ja ich möchte faſt ſagen, mir die Pflicht auferlegt, zu einer raſchen Veröffentlichung der wiſſenſchaftlichen Reſultate zu ſchreiten, welche ſeit langer Zeit in meinen Papieren verborgen liegen. Ich habe mich entſchieden, mit der Photometrie zu beginnen, dieſer Wiſſenſchaft, welche, entſtanden im Schooße der Akademie der Wiſſenſchaften, in experimenteller Beziehung mitten unter den glänzenden Fortſchritten, welche die Optik ſeit einem halben Jahrhundert gemacht hat, faſt ſtationär geblieben iſt.

Meine erſten photometriſchen Verſuche datiren von 1815. Ich habe ſie damals mit einem Apparate angeſtellt, den ich blos in der Hand hielt. Indeß die Vortrefflichkeit des von mir angewandten Princips war der Art, daß mehrere der auf dieſe Weiſe erhaltenen Reſultate Fresnel zur Verification ſeiner theoretiſchen Formeln dienten.

*) Dieſe Abhandlung iſt noch nicht gedruckt worden. Blos die Einleitung und die Schlußfolgerungen ſind im 30. Bd. der Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences erſchienen.

Im Begriff, dem Urtheile des Publicums die Früchte von Untersuchungen, die ich mit Unterbrechungen lange Jahre hindurch, und zwar mit vervollkommneten Instrumenten, verfolgt habe, vorzulegen, glaubte ich meine Mittheilungen nicht auf isolirte Facta beschränken zu dürfen; es schien angemessener, unter sich zusammenhängende Resultate, welche bestimmte und besondere Kapitel der Wissenschaft bilden, zu geben. In dieser Beziehung zeigten aber meine Tagebücher zahlreiche Lücken, welche der Zustand meines Gesichts mir nicht gestattet haben würde, mit der erforderlichen Genauigkeit auszufüllen. Glücklicherweise ließen sich unser College, Herr Laugier und der Director der toulouser Sternwarte, Herr Petit, auf meine Bitte bereit finden, für den Augenblick ihren eigenen Arbeiten zu entsagen, und mit ihren jungen Augen mir zu Hilfe zu kommen. Fast drei Monate lang haben sie sich, so oft die atmosphärischen Verhältnisse günstig waren, der Ausführung meiner Versuche mit einem Eifer, mit einer Sorgfalt und Geduld unterzogen, für welche ich mich glücklich fühle, ihnen jetzt meine ganze Erkenntlichkeit zu bezeugen. Wenige Tage reichten hin, um mit dieser neuen Art von Beobachtungen sich vertraut zu machen, sich gegen die Fehlerquellen, die sich bei jedem Schritte darbieten, zu sichern, und endlich, um mich zu überzeugen, daß im unglücklichsten Falle sie sich selbst überlassen im Stande sein würden, mein Werk zu vollenden, von meinen Instrumenten und Methoden den größten Vortheil zu ziehen, und die Wissenschaft neue Fortschritte machen zu lassen. Um gerecht zu sein, darf ich nicht vergessen der intelligenten Beihilfe zu gedenken, welche Herr Charles Matthieu, Eleve am Observatorium, uns bisweilen geleistet hat.

Man möge nicht übersehen, daß, sobald das Auge bei der Abschätzung der Phänomene eine wesentliche Rolle spielt, es nicht überflüssig ist, sich zu versichern, daß verschiedene Personen zu denselben Resultaten gelangen.

In dieser Abhandlung werde ich mich ausschließlich mit den Versuchen beschäftigen, durch welche ich das photometrische Gesetz, das von den Physikern Gesetz des Cosinusquadrats genannt worden, bewiesen habe.

Ich habe bei dieſer Unterſuchung zwei verſchiedene Wege eingeſchlagen.

Der erſte iſt der von mir im Auguſt 1833 in einer vor der Akademie geleſenen Abhandlung, woraus Herr Babinet einen Auszug in der franzöſiſchen Ueberſetzung von Herſchel's Optik*) zu veröffentlichen die Güte gehabt hat, angegebene.

Man würde mit Recht erſtaunen, daß ein Zeitraum von ſiebzehn Jahren zur Ausführung meiner Verſuche nicht hingereicht hat, wenn ich nicht hinzufügte, daß ſie gebieteriſch die genaue und vorläufige Kenntniß der Lichtmengen erforderten, welche unter einer gewiſſen Anzahl von Neigungen durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen reflectirt und durchgelaſſen werden. Auffallenderweiſe finden ſich dieſe Mengen, die Grundlagen der Photometrie, nicht in der klaſſiſchen Schrift von Bouguer und ſtehen in Lambert's Werke nur mit Fehlern behaftet, welche ſie zu feinen Unterſuchungen ganz und gar untauglich machen.

Wenn irgend ein Phyſiker verſucht hat, ſeine Deductionen auf die dem berühmten deutſchen Mathematiker entlehnten Data zu ſtützen, ſo hat er ſehr abweichende Reſultate finden müſſen, und ich wundere mich nicht, daß er nicht gewagt hat, damit vor die Oeffentlichkeit zu treten. Ich meinestheils ſah bei den erſten Proben meines Syſtemes von Verſuchen, daß ich darauf verzichten müßte, in den Büchern die Data zu finden, auf welche ſie ſich ſtützen; kurz, daß es nöthig wäre, die Frage von vorn anzugreifen, ohne Lambert oder ſeinen Nachfolgern etwas zu entlehnen. In einer der nächſten Sitzungen werde ich die Methode mittheilen, welche ich ausgedacht habe, um mit aller gewünſchten Genauigkeit die mir unentbehrlichen Beſtimmungen zu erhalten. Für jetzt begnüge ich mich anzuführen, daß durch dieſe neue Methode ſich direct beſtimmen ließen:

> der Winkel von 4° 32′ von der Oberfläche aus gerechnet, unter welchem eine Crownglasplatte vier Mal mehr Licht reflectirt, als ſie durchläßt;

---

*) Siehe oben S. 120 und den das Ende dieſes Bandes bildenden Anhang.

der Winkel von 7° 1′, unter welchem das reflectirte Licht das Doppelte des durchgelaſſenen iſt;
der Winkel von 11° 8′, unter welchem das reflectirte Licht dem durchgelaſſenen gleich iſt;
der Winkel von 17° 17′, unter welchem das reflectirte Licht die Hälfte des durchgelaſſenen beträgt;
und endlich der Winkel von 26° 38′, unter welchem das reflectirte Licht ein Viertel des durchgelaſſenen ausmacht.

Dieſe direct beſtimmten Winkel ſind die einzigen, von denen man bei der Anwendung der erſten Verificationsmethode Gebrauch zu machen hat. Die zweite erfordert, daß man genau die Mengen des durchgelaſſenen und reflectirten Lichtes für Winkel, welche zwiſchen den obigen liegen, kenne. Dazu gelangt man durch eine Interpolation, die um ſo mehr gerechtfertigt iſt, als zwiſchen dem erſten Winkel von 4° 32′ und dem letzten von 26° 38′, alſo in einem Intervalle von 22° 6′ noch fünf directe Meſſungen vorliegen.

II.

Wenn ein Bündel gewöhnlichen Lichtes ſenkrecht durch einen Kalkſpath hindurchgeht, ſo ſpaltet es ſich in zwei Strahlen von gleicher Intenſität. Der eine erleidet die regelmäßige, der andere die unregelmäßige Brechung. Beide Strahlen, der regelmäßige und der unregelmäßige, liegen in einer Ebene, welche der Hauptſchnitt heißt.

Wir beſchäftigen uns nur mit dem regelmäßigen Strahle und unterwerfen das Licht, woraus er beſteht, der Einwirkung eines zweiten Kryſtalles, welcher den Namen analyſirender Kryſtall führt.

Wenn der Hauptſchnitt dieſes zweiten Kryſtalles dem Hauptſchnitte des erſten parallel iſt, ſo gibt das aus letzterem austretende Licht nur ein Bild, nämlich das regelmäßige. Sobald aber die beiden Hauptſchnitte aufhören parallel zu ſein, beginnt die Entſtehung des unregelmäßigen Bildes. Es wächſt allmälich an Intenſität in dem Maaße, als der Winkel zwiſchen beiden Hauptſchnitten zunimmt, und wird endlich eben ſo lebhaft, als das regelmäßige Bild, wenn der

Winkel 45° erreicht. Ueber dieſen Winkel hinaus übertrifft das unregelmäßige Bild das regelmäßige an Helligkeit. Steigt der Winkel beider Hauptſchnitte bis 90°, ſo bleibt das unregelmäßige Bild allein übrig.

Die Polariſationsrichtung in den beiden Bildern iſt für den regelmäßigen Strahl der Hauptſchnitt des analyſirenden Kryſtalles und für den unregelmäßigen Strahl die darauf ſenkrechte Ebene.

Man kann ſich jetzt die Frage vorlegen, nach welchem Geſetze wächſt die Intenſität des unregelmäßigen Strahles, oder nach welchem Geſetze nimmt die Intenſität des regelmäßigen ab, wenn der von den Hauptſchnitten der beiden Kryſtalle gebildete Winkel immer größer wird.

Ich habe angeführt, daß wenn dieſer Winkel 0 iſt, kein unregelmäßiges Bild ſich zeigt; daß dieſes letztere Bild allein vorhanden iſt und das ganze Licht in ſich aufnimmt, wenn die beiden Hauptſchnitte auf einander rechtwinklig ſind; und daß endlich beide Bilder, das regelmäßige und das unregelmäßige, gleiche Lichtmengen erhalten, wenn die Hauptſchnitte gegen einander um 45° geneigt ſind. Nun iſt der Coſinus von $0^0 = 1$, der Coſinus von $45^0 = \sqrt{1/2}$ und der Coſinus von $90^0 = 0$. Man wird alſo den drei Intenſitäten, welche das regelmäßige Bild beſitzt, wie Malus ſchon bemerkte, durch die Annahme genügen, daß dieſe Intenſitäten proportional mit dem Quadrate des Coſinus des von den Hauptſchnitten gebildeten Winkels ſich ändern. Darf man ſich aber auf ein Geſetz verlaſſen, das auf dieſe Weiſe nur in den beiden äußerſten und in dem mittelſten Punkte verificirt worden iſt? Es iſt erlaubt, daran zu zweifeln. Um nun das Ungenügende dieſer Beweiſe zu ergänzen, habe ich die Verſuche, welche den Gegenſtand dieſer Abhandlung ausmachen, unternommen.

III.

Die Erſcheinungen ſind durchaus dieſelben, wenn man das unter angemeſſenen Winkeln von der Oberfläche des Waſſers, des Glaſes u. ſ. w. reflectirte Licht betrachtet. Die Reflexionsebene erhält dann die Rolle, welche wir in den zuvor erwähnten Verſuchen dem Hauptſchnitte des erſten Kryſtalles angewieſen haben.

Geſetzt wir wählen anſtatt eines begrenzten und in ſeinen verſchiedenen Theilen in der Helligkeit ſich ändernden Objectes, wie die Flamme einer Kerze, ein breites überall gleich helles Lichtbündel, wie ein ſolches z. B. von einem Blatte weißen Papiers ausgeht, und laſſen es von einer polariſirenden Ebene reflectiren. Wir wollen ferner annehmen, daß der analyſirende Kryſtall eine ſehr wenig merkliche Doppelbrechung beſitze, daß er z. B. aus einer mit den Kanten des ſechsſeitigen Prismas parallel geſchnittenen Bergkryſtallplatte beſtehe. Alle Phänomene, die ich zuvor als in dem analyſirenden Kryſtalle vorgehend beſchrieben habe, treten auch in der Bergkryſtallplatte ein. Nur werden wegen der Ausdehnung des Objectes, von welchem das Licht ausgeht, und wegen der Schwäche der Doppelbrechung des Kryſtalles dieſe Phänomene, wenn ich ſo ſagen darf, noch latent ſein; ſie werden nur mit den Augen des Verſtandes geſehen werden können.

Verſuchen wir ſie zu analyſiren, ſo wird ſich, was allerdings ſeltſam iſt, ergeben, daß die Vergleichung des regelmäßigen und unregelmäßigen Bildes, welche, ſo lange beide getrennt waren, ſich nur mit äußerſter Schwierigkeit und großer Unſicherheit würde haben ausführen laſſen, gerade umgekehrt mit Genauigkeit anzuſtellen iſt, ſobald die Bilder über einander fallen und ſich vermiſchen.

Wenn der Hauptſchnitt der Bergkryſtallplatte, welche den frühern analyſirenden Kryſtall erſetzt hat, mit der Reflexionsebene zuſammenfällt, ſo bleibt das Licht im urſprünglichen Zuſtande und iſt alſo ganz und gar in der Einfallsebene polariſirt. Wenn der Hauptſchnitt der Platte aufhört mit der urſprünglichen Polariſationsebene zuſammenzufallen, ſo theilt ſich das von jedem Punkte der Ebene ausgehende Licht in zwei Theile, einen in der jetzigen Lage des Hauptſchnittes der Platte und einen zweiten in darauf ſenkrechter Ebene polariſirten.

Streng genommen fallen, wie ſchwach auch die Doppelbrechung der Platte ſein möge, dieſe beiden Bilder nicht zuſammen, ſondern das regelmäßige Bild eines Punktes A coincidirt mit dem unregelmäßigen Bilde eines eben ſo hellen benachbarten Punktes B, dergeſtalt daß die Phänomene gerade ſo erfolgen müſſen, als wenn die dem regelmäßigen und dem unregelmäßigen Bilde eines jeden Punktes des Papieres zuge-

hörigen Strahlen genau denselben Weg verfolgten, um das Auge zu erreichen. Wenn man sich jetzt erinnert, daß nach einem der elementaren Grundsätze der Polarisation zwei auf einander rechtwinklig polarisirte Strahlen von gleicher Intensität sich in ihrer Mischung wie neutrales Licht verhalten, so wird man einsehen, daß in dem vorliegenden Falle von jedem Punkte des Papieres partiell polarisirtes Licht in's Auge gelangt, und daß diese partielle Polarisation um so intensiver wird, je kleiner der Winkel ist, welchen die Hauptschnitte unter einander bilden.

Gesetzt also, das Gesetz des Cosinusquadrats sei richtig; so ist nach diesem Gesetze in dem Azimut i die Intensität des regelmäßigen Bildes $F \cos^2 i$ und die Intensität des unregelmäßigen $F \sin^2 i$.

Zufolge des weiter oben angeführten Princips der Polarisation wird aber dieses letzte Lichtbündel $F \sin^2 i$, wenn es mit einem äquivalenten Theile des anderen Bildes zusammenfällt, $2F \sin^2 i$ neutrales Licht geben.

Es bleibt daher von polarisirtem, aus dem regelmäßigen Bündel stammenden Lichte nur übrig $F \cos^2 i - F \sin^2 i = F \cos 2i$.

Sonach ist in jedem ins Auge gelangenden Bündel das Verhältniß des polarisirten Lichtes zum gesammten Lichte

$$\frac{F \cos 2i}{F} \text{ oder } \cos 2i.$$

Dies numerische Verhältniß ist dergestalt mit dem Gesetze der Intensitäten des regelmäßigen und unregelmäßigen Strahles verknüpft, daß, wenn es durch die Erfahrung bestätigt wird, daraus mit Sicherheit auf die unbestreitbare Gültigkeit des Gesetzes der Intensitäten geschlossen werden kann.

IV.

Wir kommen jetzt zu dem Principe, das in dieser ganzen Untersuchung vorwaltet.

Ich habe vor längerer Zeit entdeckt, daß wenn ein Bündel neutralen Lichtes auf eine durchsichtige Glasplatte mit parallelen Flächen

fällt, die Menge des polarisirten Lichtes (man beachte wohl, daß ich nicht sage, das Verhältniß) in beiden Bündeln, dem reflectirten und dem durchgelassenen, genau dieselbe ist. *)

Dies vorausgeschickt, nehmen wir an, daß der reflectirte Strahl die Hälfte des durchgelassenen betrage. Das Verhältniß des polarisirten Lichtes, welches das erstere Bündel enthält, wird doppelt so groß sein, als das Verhältniß polarisirten Lichtes im durchgelassenen. Wenn die Intensität des reflectirten Bündels ein Viertel von der Intensität des durchgelassenen Lichtes beträgt, so wird das Verhältniß des polarisirten Lichtes, das sich in dem letzten Strahle findet, ein Viertel des Verhältnisses im reflectirten Lichte sein. Im Allgemeinen, wenn die durchgelassenen und reflectirten Bündel respective m a und a sind, so wird die Menge polarisirten Lichtes b, welche den $\frac{b}{a}$ Theil des reflectirten Lichtes ausmacht, den $\frac{b}{m\,a}$ Theil des durchgelassenen Lichtes bilden.

V.

Zwei Instrumente sind für die Lösung des Problems, das wir im Auge haben, nothwendig: Das Polariskop und das Polarimeter.

Das Polariskop ist den Physikern so bekannt, daß es hier hinreicht einfach daran zu erinnern, daß es aus einer Röhre von 1 bis 2 Centimeter im Durchmesser besteht, welche an dem einen Ende durch eine senkrecht auf die Kanten des sechsseitigen Prismas geschnittene Bergkrystallplatte von ungefähr 5 Millimeter Dicke geschlossen ist und am anderen Ende, nach Art eines Oculars, ein doppeltbrechendes achromatisirtes Bergkrystallprisma trägt. Dies Prisma gibt zwei Bilder der entgegengesetzten Oeffnung. Ist das in das Instrument eindringende Licht neutral, so erscheinen die beiden Bilder ungefärbt; ist das Licht vollkommen polarisirt, so glänzen die beiden Bilder mit den lebhaftesten Farben. Ist endlich das Licht partiell polarisirt, so zeigen die beiden Bilder Farben, die aber um so weniger lebhaft sind, je geringer das Verhältniß polarisirten Lichtes in dem einfallenden

*) Siehe in Bd. 7 den Aufsatz über Polarisation des Lichtes.

Bündel iſt. Dieſe Farben laſſen die geringſten Antheile polariſirten Lichtes in einem gemiſchten Bündel wahrnehmen; es iſt dies ein untrügliches Mittel von einer Empfindlichkeit, der kein anderes gleich kommt.

Das zweite Inſtrument, deſſen wir uns bedienen werden, das Polarimeter, iſt ein Polariſkop, vor welchem eine Säule aus Glasplatten befeſtigt iſt, die in Bezug auf das einfallende Bündel alle möglichen Neigungen annehmen kann. Die Meſſung geſchieht durch einen paſſend angebrachten getheilten Kreisbogen. Mittelſt dieſer Säule kann man jeden durch ſie hindurchgehenden partiell polariſirten Strahl auf den neutralen Zuſtand zurückführen; und man iſt ſicher, dieſe Transformation des Bündels erreicht zu haben, wenn das Inſtrument Bilder ohne irgend eine Spur von Färbung zeigt.

Dies Inſtrument hat den Namen Polarimeter erhalten; es geſtattet in der That, mittelſt einer gegebenen Säule zu erkennen, ob die Zahl der in einem partiell polariſirten Lichtbündel enthaltenen neutralen Strahlen größer oder kleiner als in einem anderen Bündel iſt. Man kann dahin gelangen, das in dem gemiſchten Bündel enthaltene Verhältniß polariſirten Lichtes numeriſch zu beſtimmen; wir werden aber dies Reſultat nur durch eine Graduirung des Inſtrumentes erhalten, welche das Geſetz des Coſinusquadrates als ſtreng richtig vorausſetzt. Um dieſen Kreisſchluß zu vermeiden, wollen wir zunächſt das Polarimeter gebrauchen ohne eine Graduirung vorauszuſetzen.

VI.

Nach Vorausſendung aller dieſer Principien und wohlbekannten Eigenſchaften des Polarimeters wollen wir jetzt zu der Löſung des Problems übergehen.

Ich nehme eine Crownglasplatte, in Bezug auf welche der Verſuch mir gezeigt hat, daß das unter einem Winkel von 17° 17′, gegen die Oberfläche gerechnet, reflectirte Licht die Hälfte des durchgelaſſenen beträgt.

Ich neutraliſire mittelſt des Polarimeters das reflectirte Licht, und führe dieſelbe Operation dann für das durchgelaſſene Bündel aus. Auf dieſe Weiſe habe ich zwei Neigungen der Säule, von denen die

eine, welche dem durchgelaſſenen Lichte entſpricht, die Neutraliſation eines Bündels gibt, das in einem gewiſſen aber unbekannten Verhältniſſe polariſirtes Licht beigemengt enthält, während die andere die Neutraliſation eines Bündels gibt, das ein doppelt ſo großes Verhältniß polariſirten Lichtes als das vorhergehende enthält.

Nachdem die Säule unter dieſen letzten Winkel geſtellt iſt, ſuche ich, unter welchem Azimutalwinkel i in Bezug auf die Reflexionsebene der Hauptſchnitt der Bergkryſtallplatte, durch welche ein polariſirtes Lichtbündel hindurch geht, geſtellt werden muß, damit das austretende Bündel neutraliſirt iſt; d. h. daß dies Licht beim Austreten aus dem Kryſtall genau ſo zuſammengeſetzt iſt, wie das von der Crownglasplatte durchgelaſſene Bündel. Ich wiederhole dieſelbe Operation für die Neigung der Säule, welche der Neutraliſation des reflectirten Lichtes entſpricht, und finde einen zweiten Azimutalwinkel i', welcher einem doppelt ſo großen Verhältniß polariſirten Lichtes entſpricht als der vorhergehende.

Der Verſuch hat für den Azimutalwinkel i 36° 42′ und für den Azimutalwinkel i′ 27° 58′ gegeben.

Wenn das Geſetz, das wir prüfen wollen, richtig iſt, ſo muß das Verhältniß von cos 2i′ zu cos 2i durch die Zahl 2 ausgedrückt werden.

Aus den durch den Verſuch gelieferten Werthen erhalten wir die Zahl 1,96, d. h. bis auf ungefähr $1/50$ das Reſultat, welches das zu verificirende Geſetz gibt.

Bemerken wir, daß es genügen würde, von den Winkeln i′ und i den einen um 5′, den andern um 11′ zu vergrößern, um in aller Strenge dem mathematiſchen Geſetze des Coſinus zu genügen.

Ich gebe eine zweite Beſtätigung für den Fall, wo das reflectirte Licht $1/3$ des durchgelaſſenen beträgt. In dieſem Falle beſtimmt man die Neigungen der zu dem Verſuche benutzten Säule, welche reſpective den Neutraliſationen des reflectirten und des durchgelaſſenen Lichtes entſprechen.

Wendet man dann eben dieſe Säule unter dieſen zwei Neigungen an, um das vollſtändig polariſirte Lichtbündel nach ſeinem Durchgange

durch die Bergkryſtallplatte zu unterſuchen, ſo findet man die Azimutalwinkel i und i', welche den Neutraliſationen entſprechen,

$$i' = 23^0\ 19'$$
$$i = 38^0\ 19'.$$

Nach dem Geſetze müßte cos 2 i' gleich ſein dem dreifachen von cos 2 i; aus dem Verſuche folgt dies Verhältniß zu 2,97, was mit dem mathematiſchen Geſetze, ſo gut man es nur wünſchen kann, übereinſtimmt.

Beachten wir, daß in dem letzten Falle die Verification ſich auf ein beträchtliches Intervall erſtreckt ($38^0\ 19' - 23^0\ 19' = 15^0$).

Ich füge hinzu, daß man mit dem Polarimeter ſich die Gewißheit verſchaffen kann, daß dieſſeits und jenſeits des Winkels von 45° in gleichen Abſtänden von dieſem Winkel die partiellen Polariſationen gleich groß ſind, und daß man durch das Polariſkop mit der ganzen Empfindlichkeit, welche ihm eigenthümlich iſt, nachzuweiſen vermag, daß 45° gerade der Punkt iſt, wo der regelmäßige und unregelmäßige Strahl ſich vollſtändig neutraliſiren.

Wenn man an die ſeltſamen und unerwarteten Reſultate denkt, welche ſich aus den jüngſten Verſuchen der Phyſiker über das Licht ergeben haben, ſo darf man ſich berechtigt glauben, den Scepticismus bis zu den äußerſten Grenzen zu treiben. Man kann ſich z. B. fragen, ob das Geſetz des Coſinusquadrats, das für gemiſchte Strahlen richtig iſt, ſeine Gültigkeit noch behalten würde, wenn ſeine Strahlen getrennt ſind. Um keine Spur eines Zweifels beſtehen zu laſſen, habe ich ein anderes Syſtem von Verſuchen ausgedacht und eingerichtet, das den Gegenſtand einer zweiten Mittheilung bilden wird.

VII.

Vielleicht wird man fordern, daß ich die Wichtigkeit rechtfertige, welche ich dem experimentellen Beweiſe für das Geſetz des Coſinusquadrats beigelegt habe. Folgendes iſt meine Antwort:

Die einfachen mathematiſchen Geſetze (ich rede nicht von denjenigen, welche aus bloßen Interpolationsformeln hervorgehen) leiten auf die Spur der Urſache der Erſcheinungen. Außerdem ſind dieſe Geſetze in dem Gebiete der Phyſik ſo ſelten, daß die Hinzufügung eines neuen eine ſchätzbare Bereicherung iſt.

Ist das Gesetz des Cosinusquadrats einmal experimentell bewiesen, so hat ein mit einem Prismenfernrohre versehener Beobachter das Mittel in der Hand, die Intensität der beiden Bilder, welche das Fernrohr liefert, in fast unmerklichem und nichts destoweniger vollkommen bestimmtem Grade, z. B. um Zehntausendstel, abzuändern.

Das fragliche Gesetz führt zu einer directen und leicht ausführbaren Methode, das Polarimeter experimentell zu graduiren. Aus ihm ergeben sich die Mittel zur Lösung einer Menge photometrischer und optischer Fragen, die ohne Hilfe dieses Instrumentes unangreifbar sein würden: z. B. die Bestimmung der Höhe isolirter Wolken, die sich oft an heiterm Himmel zeigen, mittelst des Zustandes der partiellen Polarisation in dem Lichte, welches diesen Wolken entspricht; ein, beiläufig gesagt, paradoxes Resultat, weil die Bestimmung jeder Entfernung die Messung einer Basis und die an den beiden Endpunkten ausgeführten Beobachtungen gebieterisch zu verlangen scheint.

Durch die außerordentliche Genauigkeit der Methoden, welche das Gesetz des Cosinusquadrats liefert, habe ich die folgende sehr oft gestellte und sehr verschieden beantwortete Frage: sind der Rand und der Mittelpunkt der Sonne gleich leuchtend, zu einer definitiven Lösung führen können.

Die von der Erde aus sichtbare Halbkugel des Mondes enthält sehr glänzende Theile und daneben andere dunkle Stellen, welche man uneigentlich Meere genannt hat. Welches sind die Verhältnisse der Intensitäten dieser mit einem so ungleichen Reflexionsvermögen versehenen Gegenden? Das Problem hat man zwar aufstellen können, aber niemals zu lösen vermocht. Man wird sehen, daß seine Lösung sich auf eine sehr einfache Weise aus einer einsichtsvollen Anwendung des Gesetzes des Cosinusquadrats ergibt.

Endlich bestimmt man mit eben diesem Gesetze die relativen Intensitäten des Mondlichtes, welches von der Sonne kommt, und des von der Erde stammenden aschfarbenen Scheines unseres Satelliten. Man wird also experimentell erfahren, welches das Verhältniß der Lichtintensitäten der Sonne und der Erde ist, letztere als ein das Sonnenlicht reflectirender Planet betrachtet. Man wird ferner erkennen, ob die von dem Monde aus successive sichtbaren Erdhemisphären mehr oder

weniger leuchtend ſind, je nachdem ſie mehr oder weniger feſte Theile der Erde (Continente), oder mehr oder weniger Waſſer (Meere) enthalten. Man wird gleichzeitig den Einfluß des mehr oder minder durchſichtigen, des mehr oder weniger wolkigen Zuſtandes unſerer Atmoſphäre ſchätzen; ſo daß es nicht unmöglich iſt, daß man eines Tags in der Beobachtung des aſchfarbenen Lichtes des Mondes Data für die mittlere Durchſichtigkeit der verſchiedenen Erdhemiſphären ſuchen wird.

Dies ſind einige der photometriſchen Fragen, die ich ſucceſſive vor der Akademie zu behandeln beabſichtige. Ihre Anführung wird hoffentlich genügen, um die Details zu rechtfertigen, in die ich mich eingelaſſen habe, um die Wichtigkeit eines experimentellen Beweiſes für das Geſetz des Coſinusquadrats fühlbar zu machen.

Zweite Abhandlung über Photometrie.

Construction der Tafel über die von einer Glasplatte mit parallelen Flächen zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichtmengen.

Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 1. April 1850.*)

Der Zweck dieser Abhandlung ist, die Tafel über die von einer Glasplatte mit parallelen Flächen unter allen Neigungen zurückge-

*) Bis jetzt nicht gedruckte Abhandlung, wovon die Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences nur das nachfolgende Résumé enthalten:

„Die Tafel der von einer Glasplatte mit parallelen Flächen unter verschiedenen der Oberfläche nahe liegenden Neigungen zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichtmengen vorzulegen; diese numerischen Resultate zu einer neuen Bestätigung des Gesetzes des Cosinusquadrats zu verwenden, indem man nicht mehr mit zusammenfallenden Strahlen, sondern mit getrennten Bildern operirt; durch Discussion derselben die Mittel kennen zu lehren, mit deren Hilfe jene Tafel construirt worden: dies ist der Gegenstand dieser zweiten Abhandlung. In Erwartung der baldigen Veröffentlichung des Textes, dessen Länge die für Artikel dieser Sammlung festgesetzten Grenzen bei weitem überschreiten würde, wird man hier nur eine sehr kurze Anzeige ihres Hauptinhalts geben.

„Die bisher gewöhnlich angewandten photometrischen Verfahrungsweisen beruhten auf der Benutzung künstlicher Lichter, deren veränderlicher Glanz zu genauen Messungen wenig geeignet war. Solche Lichter sind von diesen Versuchen vollständig ausgeschlossen und dies ist eine der wesentlichsten Eigenthümlichkeiten der neuen von mir befolgten Methode. Diese Methode gründet sich auf die Benutzung zweier Kunstgriffe: der erste besteht darin, die Bilder mittelst Doppelbrechung successive zu spalten; und der zweite darin, das Licht stets einem breiten Papierschirme, der im

worfenen und durchgelaſſenen Lichtmengen vorzulegen, und die Mittel kennen zu lehren, mit deren Hilfe ich dieſe Tafel conſtruirt habe.

Bouguer hat durch ſcharfſinnige Verſuche dargethan, daß das Auge für die Gleichheit zweier Lichter ein ſehr gutes Urtheil hat. In dieſen erſten Abhandlungen werden wir die photometriſchen Fragen löſen, indem wir durch neue Methoden die zu vergleichenden Lichter auf gleiche Helligkeit zurückführen, wobei wir zuerſt dieſe Gleichheit ohne irgend ein weiteres Hülfsmittel mit bloßen Augen beurtheilen,

---

durchgelaſſenen Lichte betrachtet und von einem großen Theile des bedeckten Himmels beleuchtet wird, zu entnehmen.

„Die Abhandlung enthält eine ins Einzelne gehende Discuſſion dieſer beiden Kunſtgriffe, ſo wie der Bedingungen, unter welchen man ſie anzuwenden hat. Durch Schlüſſe und durch den Verſuch wird gezeigt, daß der Beobachter auf die veränderlichen Diſtanzen, in welche der Schirm geſtellt werden kann, und innerhalb gewiſſer Grenzen ſelbſt auf den Ausſtrahlungswinkel des Lichtes keine Rückſicht zu nehmen braucht. Man beweiſt ferner mittelſt des Polariſkops durch directe Beobachtung, daß die Spaltung in einem neutralen Lichtſtrahle genau in zwei gleiche Theile erfolgt.

„Nachdem der Verfaſſer mit der ganzen erforderlichen Sorgfalt die Bedingungen erforſcht hat, welche erfüllt ſein müſſen, um aus der Benutzung des Schirmes und doppeltbrechender Prismen von beſonderer Beſchaffenheit den größtmöglichen Vortheil zu erzielen, legt er das von ihm benutzte Inſtrument der Akademie vor, erläutert den Gebrauch deſſelben und gibt die numeriſchen Werthe der Winkel an, unter welchen die Mengen des von einer Glasplatte mit parallelen Flächen reflectirten und durchgelaſſenen Lichtes in dem Verhältniſſe von 4 : 1, 2 : 1, 1 : 1, $1/2$: 1 und $1/4$: 1 ſtehen. Durch eine Interpolation zwiſchen den Gliedern dieſer Reihe gelangt dann der Verfaſſer zu den Beſtimmungen, deren er zum Beweiſe für das Geſetz des Coſinusquadrats unter den oben ausgeſprochenen Bedingungen bedarf.

„Dieſer Beweis iſt indeß nur ſtreng unter der Annahme, daß kein merklicher Antheil von Licht bei dem Acte der Reflexion oder der Brechung an der erſten und zweiten Oberfläche der Platte vernichtet wird. Arago hat umſtändlich die Verſuche erläutert, durch welche er im Gegenſatz zu den in klaſſiſchen Werken ausgeſprochenen Reſultaten die Richtigkeit dieſer wichtigen Thatſache dargethan hat.

„In einer dritten Abhandlung wird der Verfaſſer zeigen, wie man von kleinen Winkeln (4° und $26\,1/2^{\circ}$) zu Incidenzen übergehen kann, welche der ſenkrechten nahe liegen; wie man ferner die Mengen des an der Oberfläche der Metalle und an der erſten Oberfläche durchſichtiger Spiegel reflectirten Lichtes beſtimmen kann.“

ſpäter aber einige Kunſtgriffe benutzen, welche eine feinere Entſcheidung ermöglichen.

Die von mir befolgte Methode unterſcheidet ſich von den Verfahrungsweiſen meiner Vorgänger ſehr weſentlich dadurch, daß ich niemals zu künſtlichen Lichtern meine Zuflucht genommen habe.

Von Jedem, der ſolche Lichtquellen, wie Talg- und Wachskerzen oder Lampen mit doppeltem Luftzuge benutzt hat, iſt über die Unſicherheiten, welche die Aenderungen der Helligkeit in den Endreſultaten veranlaßten, über die zahlreichen Schwierigkeiten, welche ſie den Beobachtungen entgegenſtellten, Klage geführt worden. Ich meinerſeits bekenne offen, daß ich den photometriſchen Unterſuchungen vollkommen entſagt haben würde, wenn ich nicht die Mittel gefunden hätte, die unbequeme und unſichere Anwendung der Kerzen oder Argand'ſchen Lampen zu umgehen. Dieſe Mittel ſind von zweierlei Art; das erſte bezweckt die Benutzung der Doppelbrechung, um die beobachteten Bilder auf die Hälfte, ein Viertel u. ſ. w. ihrer urſprünglichen Intenſität zu reduciren; das zweite beſteht darin, bei allen Verſuchen das Licht einem Papierſchirme zu entnehmen, der im durchgelaſſenen Lichte betrachtet und von einem ſehr großen Theile des ſo viel als möglich bedeckten Himmels erleuchtet wird.

Vor jedem Verſuche war es alſo vor allen Dingen nöthig, den Schirm, welchem das Licht entnommen werden ſollte, aus allen Geſichtspunkten zu prüfen, um ſich gegen jede von dieſer Seite kommende Fehlerquelle zu ſichern. Dies werden wir in dem Maaße ausführen, als wir in unſern Verſuchen vorſchreiten.

Wenn man daran denkt, daß das aus irgend einer Quelle ausſtrömende Licht im Verhältniß des Quadrats der Entfernungen an Intenſität abnimmt, ſo wird es anfangs ſchwer zu begreifen, daß man für die Geſammtheit von Punkten, welche eine zuſammenhängende Fläche bilden, ſelbſt wenn man die Oberfläche direct betrachtet, auf dieſe Verminderung nicht Rückſicht zu nehmen braucht; daß es gleichgültig iſt, das Licht einem nahe oder einem fern ſtehenden Schirme zu entlehnen. Eine aufmerkſame Prüfung ändert aber dieſe erſten Eindrücke. Denn geſetzt, man betrachte den Schirm durch eine Oeffnung von gegebener Größe, und der Schirm, auf welchen dieſe Oeffnung

ſich projicirt, ſtehe zuerſt 1, und dann 2 Centimeter vom Auge ab. Das Licht jedes ſichtbaren Punktes wird im Verhältniß des Quadrats der Abſtände, alſo im Verhältniß von 1 : 4, ſchwächer werden, aber trotz dieſer Schwächung die Helligkeit der Oeffnung dieſelbe bleiben; denn im zweiten Falle wird es 4mal mehr Punkte des Schirmes geben, welche ihr Licht zu dem Auge ſenden, als in dem erſten, was eine vollſtändige Compenſation hervorbringt.

Obwohl dieſe Betrachtungen einleuchtend ſind, habe ich doch gewünſcht, die Reſultate der Theorie durch einen entſcheidenden Verſuch zu prüfen. Ich habe Herrn Laugier gebeten, zwei ganz gleiche Blätter Papier in verſchiedenen Entfernungen von dem Orte, wo er ſie im durchgehenden Lichte beobachten ſollte, dem Lichte der Sonne auszuſetzen. Nachdem dies geſchehen, projicirte ſich eine in der Entfernung des deutlichen Sehens gelegene Spalte gleichzeitig mit der linken Hälfte auf das nähere und mit der rechten Hälfte auf das entferntere Blatt. Die Strahlen, welche vom Auge aus die beiden Ränder der Spalte ſtreiften, umfaßten auf dem entfernteren Papiere ein größeres Stück der Oberfläche als auf dem näheren und wegen dieſes Umſtandes ſchienen, ſo weit es ſich beurtheilen ließ, die beiden Theile der Spalte, deren einer ſich auf den näheren, der andere auf den entfernteren Schirm projicirte, genau dieſelbe Helligkeit zu haben.

Ich laſſe hier die numeriſchen Werthe dieſer Verſuche folgen.

Erſter Verſuch.

Entfernung des Auges vom erſten Schirme	60	Centimeter
„ „ „ „ zweiten „	90	„
„ „ „ von der Spalte	49	„

Zweiter Verſuch.

Entfernung des Auges vom erſten Schirme	58	Centimeter
„ „ „ „ zweiten „	91	„
„ „ „ von der Spalte	49	„

Sonach brauchen wir uns alſo wegen kleiner oder großer Ungleichheiten, welche zwiſchen den Entfernungen der verſchiedenen Punkte des Schirmes von dem anzuwendenden Photometer etwa vorhanden ſind, keine Sorgen zu machen.

Wir wollen jetzt prüfen, ob der andere Kunstgriff, zu dem ich meine Zuflucht genommen habe, nicht irgend eine Schwierigkeit darbietet. Meine Idee, doppeltbrechende Krystalle zu benutzen, um Lichtstrahlen auf die Hälfte, ein Viertel u. s. w. ihrer ursprünglichen Intensität zurückzuführen, hat mich, wie ich bereits oben erwähnt habe, der Benutzung künstlicher in verschiedene Entfernungen gestellter Lichter enthoben. Vor Anstellung irgend einer Messung mußte aber diese Idee als brauchbar nachgewiesen werden; es mußte gezeigt werden, daß sie, während sie einerseits die Beobachtungen bequemer macht, andererseits zu genaueren Methoden als wie die früheren Verfahrungsweisen führte. Ich bin deshalb in folgender Weise verfahren:

Unter den günstigsten Umständen habe ich mit größter Aufmerksamkeit das von einem natürlichen Krystalle oder von einem achromatisirten Prisma gelieferte regelmäßige und unregelmäßige Bild geprüft, aber niemals zwischen beiden Bildern den geringsten Intensitätsunterschied zu finden vermocht.

Ich habe mich indeß auf diese Prüfung nicht beschränkt, sondern das Polariskop zu Hülfe genommen.

Die beiden aus einem doppeltbrechenden Krystalle austretenden Bündel, das regelmäßige und das unregelmäßige, sind rechtwinkelig zu einander polarisirt. Besäßen diese Bündel nicht gleiche Intensität, so würde das aus ihrer Mischung hervorgehende Licht partiell polarisirt sein und das in dem vereinigten Bündel enthaltene polarisirte Licht eine dem Unterschiede zwischen dem regelmäßigen und unregelmäßigen Bündel gleiche Intensität zeigen Blickt man aber mittelst des Polariskops durch einen doppeltbrechenden Krystall hindurch nach einem Blatte weißen Papiers, so sieht man keine Spur von Farben; und doch würde dies Verfahren den geringsten Intensitätsunterschied zwischen den beiden aus dem Krystalle austretenden Bildern bemerklich gemacht haben.

Sonach kann man also als bewiesen betrachten, daß wenn ein neutrales Lichtbündel durch einen doppeltbrechenden Krystall hindurchgeht, das austretende Licht genau zur einen Hälfte in das regelmäßige und zur andern in das unregelmäßige Bild übergeht.

Die austretenden Bündel enthalten aber nicht die ganze Menge des einfallenden Lichtes; denn wenn ein Lichtbündel auf die Oberfläche eines doppeltbrechenden Kryſtalles fällt, ſo erleidet es vor ſeiner Spaltung eine partielle Zurückwerfung; die Spaltung erfolgt erſt in dem ſchon geſchwächten Bündel.

Bei dem Austritte aus dem Kryſtalle erfährt jedes der beiden Bilder, das regelmäßige ſowohl als das unregelmäßige, wieder eine partielle Zurückwerfung. Es iſt alſo gerade ſo, als ob die Spaltung in einem zuerſt bei ſeinem Eintritte in die kryſtalliniſche Platte und dann nochmals bei ſeinem Austritte geſchwächten Bündel eingetreten wäre. Will man die aus einem Kryſtalle austretenden regelmäßigen und unregelmäßigen Bündel mit einem andern nicht geſpaltenen Bündel vergleichen, ſo wird man Letzteres zuvor eine gleiche Schwächung erleiden laſſen müſſen, indem man es durch eine kryſtalliniſche Platte von derſelben Subſtanz und derſelben Dicke, deren Oberflächen denſelben Politurgrad zeigen und die nach der Richtung ihres eigenthümlichen Schnittes keine Doppelbrechung beſitzt, hindurchgehen läßt.

Wenn man die Doppelbrechung durch zwei an einander gelegte Prismen von Bergkryſtall erzeugt, ſo bringt man zwiſchen die beiden in Berührung befindlichen Flächen eine Subſtanz, wie dicken Terpentin, welche die Reflexion an der zweiten Fläche des erſten und an der erſten Fläche des zweiten Prismas unmerklich macht. Um den oben ausgeſprochenen Bedingungen Genüge zu leiſten, bedarf es alſo nur noch der Herſtellung einer Bergkryſtallplatte von gleicher Dicke mit den beiden über einander gelegten Prismen, die keine merkliche Doppelbrechung zeigt, und auf den Ein- und Austrittsflächen denſelben Grad von Politur beſitzt, wie die erſte Fläche des erſten und die zweite Fläche des zweiten Prismas.

In folgender Weiſe habe ich ein Prisma ausführen laſſen, welches allen dieſen Bedingungen genügt. Man nimmt eine Bergkryſtallplatte mit parallelen Flächen und ſchneidet ſie an dem einen Ende in der Weiſe keilförmig zu, daß eine der Flächen des Winkels eine der urſprünglichen Oberflächen der Platte iſt, wie dies die nachſtehende Figur 2 im Durchſchnitte darſtellt.

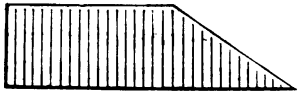


Fig. 2. — Keilförmige Bergkryſtallplatte.

In dem Theile, wo die beiden Oberflächen parallel ſind, beſitzt die Platte keine merkliche Doppelbrechung; in dem prismatiſchen Stücke tritt dieſelbe dagegen ſehr ſtark hervor, indeß zeigen die beiden Bilder die prismatiſchen Farben.

Wir nehmen eine der erſten ähnliche Platte von derſelben Dicke, und ſchleifen ihr eines Ende keilförmig zu, wie Fig. 3 zeigt, ſo daß der Winkel des Keils dem der erſten Platte genau gleich iſt.

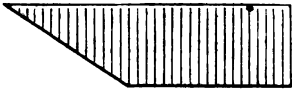


Fig. 3. — Umgekehrte keilförmige Bergkryſtallplatte.

Wenn die beiden Platten mit den keilförmigen Stücken an einander geſetzt werden, ſo bilden ſie eine zuſammengeſetzte Platte von überall gleicher Dicke.

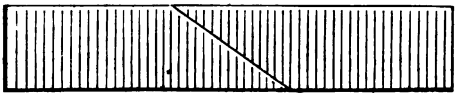


Fig. 4. — In der Mitte, aber nicht an den Enden doppelt brechende Bergkryſtallplatte.

Durch das Uebereinanderlegen der beiden entgegengeſetzten Keile werden ſämmtliche von der prismatiſchen Form herrührende Farben aufgehoben; doch bleibt, wenn die Stücke richtig geſchnitten ſind, in dem den beiden zuſammengelegten ſchrägen Flächen entſprechenden Theile der Platte eine hinreichend ſtarke Doppelbrechung übrig.

Kitten wir nun die beiden eben genannten Flächen mittelſt einer Subſtanz zuſammen, welche denſelben Brechungsexponenten beſitzt, wie der Bergkryſtall, ſo erhalten wir eine Platte, welche in ihrer Mitte das Licht doppelt bricht, an ihren Enden aber dieſe Eigenſchaft nicht beſitzt, und in allen ihren Theilen die ſenkrecht durch ſie hindurchgehenden Lichtſtrahlen von gleicher Intenſität in gleicher Weiſe ſchwächt.

Man muß bemerken, daß, weil man bei der Beobachtung den Lichttheil, welcher durch das prismatische Stück der Platte, und denjenigen, welcher durch das nicht prismatische Stück derselben hindurchgegangen ist, auf die Gleichheit zurückführt, die beiden wirklich verglichenen Bündel ursprünglich dieselbe Intensität besitzen und durch die Reflexion in Wirklichkeit gleiche Verluste erleiden. Betrachten wir nämlich das Bündel, welches auf das prismatische Stück fällt, als in zwei Hälften getheilt: so wird jede dieser Hälften einen gleichen Verlust erleiden, wie die Lichtmenge, welche auf das nichtprismatische Stück fällt und die schließlich, wenn der Versuch beendet, ihnen gleich ist. Obgleich das auf das prismatische Stück fallende Lichtbündel eine doppelt so große Intensität besitzt als das andere, so ist doch klar, daß weil die Vergleichung mit der Hälfte dieses gespaltenen Bündels geschieht, die Schwächungen an der ersten und zweiten Oberfläche einer- und andererseits dieselben sein müssen.

Diese zusammengesetzten Platten spielen in meinen Versuchen eine große Rolle. Das prismatische Stück entspricht stets dem Bilde, welches halbirt werden soll; der Rest, oder eines der nicht mit Doppelbrechung versehenen Enden dient, um das Bündel, um dessen Vergleichung mit dem ersten es sich handelt, eine gleiche Schwächung erleiden zu lassen.

Die Tafel, welche wir bilden werden, enthält die Verhältnisse des gesammten von Platten mit parallelen Flächen reflectirten, und des gesammten von eben denselben durchgelassenen Lichtes. Mit etwas Aufmerksamkeit wird man finden, daß dieser Umstand die Anwendung eines hinlänglich ausgedehnten Schirmes von gleichförmiger Helligkeit unentbehrlich macht; und ebenso, daß diese Art von Versuchen den Gebrauch einer großen Glasplatte erfordert.

Verfolgen wir nämlich die Bahn eines Lichtstrahles, welcher von einem Punkte des Schirmes ausgeht und schief auf die erste Oberfläche der Platte fällt: im Einfallspunkte wird ein Theil dieses Strahles unter demselben Winkel, unter welchem er einfiel, zurückgeworfen; der übrige Theil dringt in die Platte ein, nachdem er eine Brechung erlitten hat, die ihn der senkrechten Richtung mehr oder weniger nähert. An der zweiten Fläche angelangt, erfährt der Strahl abermals eine

partielle Reflexion: ein Theil tritt in die Luft aus und der andere wird zur ersten Fläche zurückgeführt. Dort erleidet dieser zurückgeworfene Theil abermals eine partielle Reflexion; der Theil, welcher in die Luft austritt, ist dem ersten reflectirten Strahle parallel, der andere Theil geht zur zweiten Fläche zurück, wo sich dieselben Vorgänge wiederholen, und so fort bis ins Unendliche. Sonach besteht also die Gesammtheit des reflectirten Lichtes: aus dem Lichte, welches beim Auffallen von außen auf die erste Fläche zurückgeworfen wurde; aus demjenigen, welches in die Luft übergetreten ist, nachdem es eine Reflexion an der zweiten Fläche, und eine Brechung an der ersten erlitten hat; und so fort aus allen den Strahlen, welche aus einer partiellen Reflexion an der zweiten Fläche und darauf folgender Brechung an der ersten hervorgehen.

Die beigefügte Fig. 5, macht diese Reihe von Vorgängen klarer, als jede anderweitige Erläuterung.

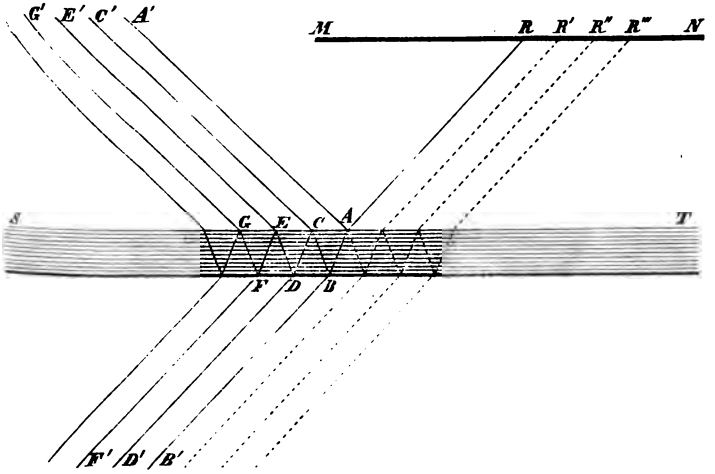


Fig. 5. — Zusammensetzung eines Lichtbündels, das von einer Glasplatte mit parallelen Flächen zurückgeworfen ist und aus dem von einem Schirme ausgesandten Lichte stammt.

Man wird bemerken, daß dieselbe Figur auch deutlich nachweist, wie die Gesammtheit der durchgehenden Strahlen des von einem Punkte R des Schirmes MN kommenden Lichtes zusammengesetzt ist.

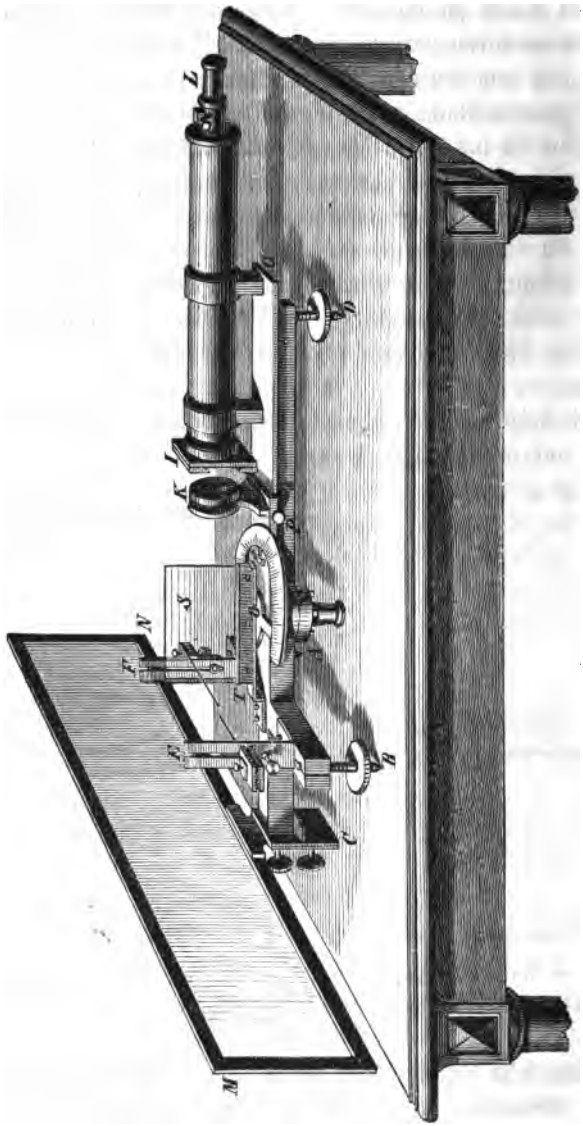


Fig. 6. — Perspectivische Ansicht des Arago'schen Photometers.

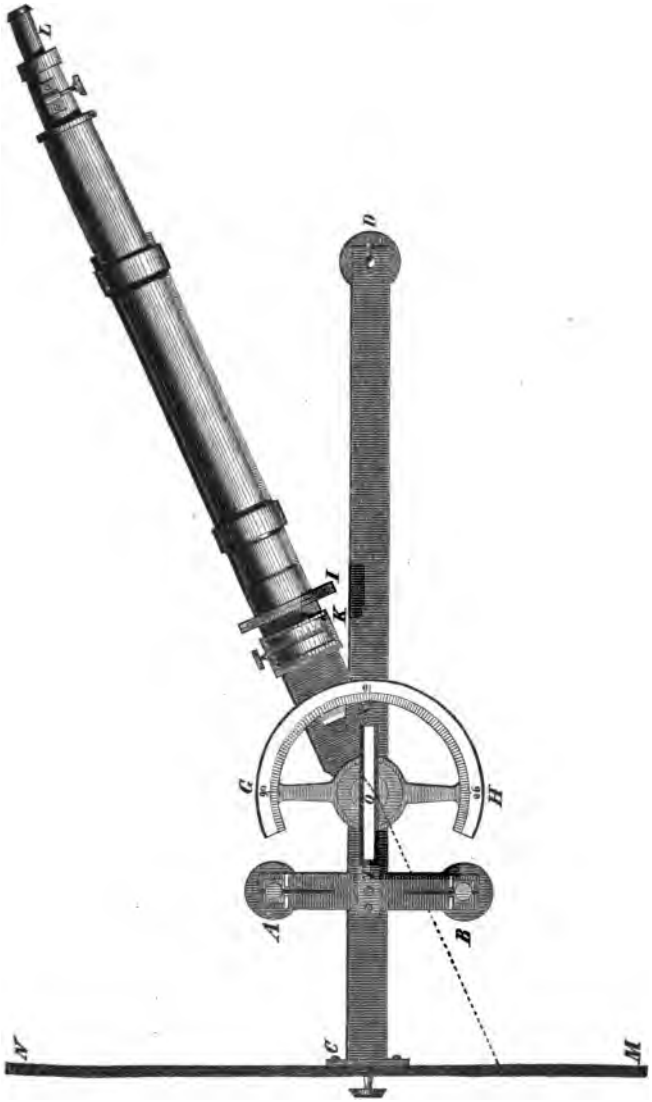


Fig. 7. — Grundriß des Arago'schen Photometers (Maaßstab 0,024 m für 1 m.)

Nehmen wir jetzt an, das Glas ST sei dick und das Licht falle sehr schief gegen die Oberfläche ein, so werden die zurückgeworfenen Strahlen AA', CC', EE', GG' u. s. w. von einander ziemlich entfernt sein. Beobachtete man in der Richtung AA', so würde man also nicht das gesammte vom Glase reflectirte und von einem gegebenen Punkte des Schirmes ausgegangene Licht erhalten.

Um dieser Bedingung zu genügen, würde man die Strahlen AA', CC', EE', GG' u. s. w., so weit dieselben eine merkliche Intensität besitzen, in ein einziges Bündel vereinigen müssen. Es ist aber überflüssig nach Mitteln zu suchen, um diese Vereinigung zu bewerkstelligen, weil in dem Versuche ein genaues Aequivalent dafür eintritt, wenn man einen Schirm von einer gewissen Größe anwendet. Man sieht nämlich, daß es auf dem Schirme einen dem ersten strahlenden Punkte R nahe gelegenen Punkt R' gibt, von dem ein Strahl nach der ersten Reflexion von der zweiten Fläche der Glasplatte mit dem Strahle AA' zusammenfällt; ferner einen Punkt R'', von dem ein Strahl nach der zweiten Reflexion auf der zweiten Fläche (analog derjenigen, welche der von R kommende Strahl in D erleidet) ebenfalls mit dem Strahle AA' zusammenfallen wird u. s. f. In der Richtung AA' wird man also dieselbe Intensität beobachten, als wenn die von einem und demselben Punkte R ausgegangenen partiellen Strahlen AA', CC', EE' u. s. w. in ein einziges Bündel vereinigt worden wären.

Aus allen diesen Betrachtungen ergibt sich klar, daß das Glas, auf welches man das Licht auffallen läßt, eine hinreichende Größe besitzen muß, damit die von den Punkten R', R'', R''' u. s. w. kommenden secundären, tertiären u. s. w. Strahlen sich in einen Hauptstrahl AA' vereinigen. Bei Nichtbeachtung dieses Umstandes würde man in irrige Resultate verfallen können. Uebrigens wird man auf das Ungenügende der Dimensionen der Platte durch das Erscheinen ihres Randes im Gesichtsfelde aufmerksam gemacht.

Nachdem wir dies vorausgeschickt haben, gehen wir zur Beschreibung des Fig. 6 perspectivisch und Fig. 7 im Grundriß dargestellten Instrumentes über.

Wir setzen vor ein Fenster einen verticalen, aus einem langen weißen Papierstreifen, der auf einem Holzrahmen ausgespannt ist,

gebildeten Schirm MN. Dies im durchgehenden Lichte geſehene Papier iſt die conſtante Quelle, der wir für alle unſere Verſuche das Licht entlehnen.

Wir ſtellen ferner eine Glasplatte S in einer verticalen, auf dem Papierſchirme ſenkrechten Ebene auf und nehmen zunächſt dieſe Platte als feſt an. Zwiſchen den Schirm und die Glasplatte bringen wir rechts und links von dieſer Platte und parallel mit dem Schirme zwei geſchwärzte Metallplatten (Fig. 8) an, in welche zwei horizontale

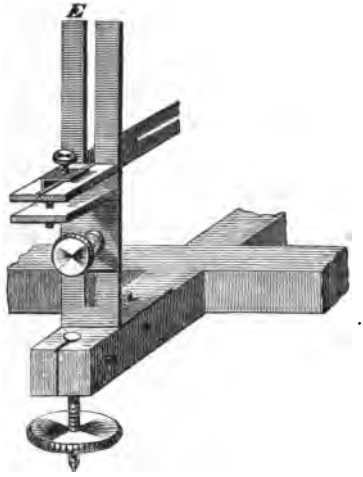


Fig. 8. — Geſchwärzte Metallplatte, in welche eine horizontale Spalte eingeſchnitten iſt.

Spalten, die in nahe gleiche Höhen geſtellt werden können, eingeſchnitten ſind. Das Licht des Schirmes muß durch dieſe horizontalen Spalten gehen, wenn es auf die Glasplatte auffallen ſoll. Wir vervollſtändigen dieſen Apparat durch ein bewegliches Rohr IL, das in Bezug auf die Glasplatte ſowohl rechts als links von derſelben alle möglichen Neigungen annehmen kann. Dieſe Neigungen werden durch einen graduirten Kreis GH, auf deſſen Theilung ein Nonius ſich bewegt, gemeſſen, indem der Kreis GH unveränderlich an dem Stück T, welches die Glasplatte trägt, befeſtigt iſt. Umgekehrt hätte man auch den Kreis beweglich und den Nonius an dem Stück T feſt

machen können. Das erwähnte Rohr ist kein Fernrohr, die Beobachtungen werden mit bloßen Augen ausgeführt; indeß benutzt man nöthigenfalls eine für den Beobachter passende Linse, die so zwischen das Auge und das Rohr gestellt wird, daß die Ränder der Spalte gut begrenzt erscheinen. Die Stelle des Objectivglases nimmt eine sehr schmale verticale Spalte ein, die auf solche Weise das Gesichtsfeld beschränkt.

Gesetzt dieses Rohr stehe rechts von der Glasplatte: so wird man durch Reflexion von der Platte das Licht sehen, welches vom Schirme aus durch die rechte Spalte gegangen ist, während das von der linken Spalte kommende Licht die Platte durchdrungen hat. Das Umgekehrte würde eintreten, wenn man das Rohr von links nach der Glasplatte gerichtet hätte: dann würde man durch Reflexion das Bild sehen, welches im ersten Falle das durchgelassene war, und umgekehrt. Gewöhnlich stellt man die beiden Spalten in der Weise, daß ihre reflectirten und durchgelassenen Bilder fast in gleicher Höhe liegen, damit sich ihre Vergleichung leichter ausführen läßt. *)

---

*) Folgendes ist die Beschreibung des im Texte erwähnten und in Fig. 6, 7 und 8 abgebildeten Apparates, wie ihn Gambey construirt hat und jetzt Duboscq, der Nachfolger von Soleil, ausführt.

Das Photometer ruht (Fig. 6 und 7) auf einem messingenen Gestell von Kreuzform. Der lange Arm CD des Kreuzes mißt 0,46 m, und der kurze AB, der mit dem ersten aus einem Stück ist, hat eine Länge von 0,12 m, und steht ungefähr um 0,09 m von dem Ende C ab. Drei in den drei Punkten A, B, D des Kreuzes angebrachte Stellschrauben dienen, um das Instrument horizontal zu stellen. Am Ende C des Armes CD vom Gestell ist eine Platte befestigt, gegen welche man mittels einer Schraube die Verlängerung des Rahmens des weißen Papierschirmes von 1 m Länge und 0,3 m Höhe anpreßt. An die Enden des kleinen Armes AB sind zwei Träger E und F angeschraubt, bestimmt, entweder die schwarzen Nadeln oder die schwarzen mit einer Längsspalte versehenen Metallplatten, wie dies im Texte beschrieben wird, aufzunehmen. Die Figur 8, welche den Träger E in größerem Maaßstabe als die Figuren 6 und 7 darstellt, zeigt, wie mittelst Druckschrauben sowohl die gespaltenen Platten als auch die Nadeln in verschiedenen Höhen und solchen Richtungen, daß die beiden einander gegenüberliegenden Nadeln oder Spalten fast parallel sind, gestellt werden können. 0,18 m von dem Ende C des Armes CD ist der Mittelpunkt O eines getheilten Kreises GH von 0,12 m Durchmesser angebracht. Ueber diesem Kreise liegt unveränderlich das Stück T, welches die Glas-

Dies vorausgeschickt, stellen wir das Rohr rechts von der Platte: verändern wir nun den Winkel, welchen die Gesichtslinie mit der

---

platte S trägt. Wenn die horizontale Alhidade OG um den Mittelpunkt des getheilten Kreises GH gedreht wird, so nimmt sie einen Nonius mit, dessen Theilungen mit Reibung auf den inneren Theilungen des Kreises gleiten, so daß man stets mit Leichtigkeit den Winkel zwischen der Platte und einem durch den Apparat KIL gehenden Lichtstrahle bestimmen kann. Auf der Alhidade OG befindet sich die kleine Röhre K, welche sich mit sanfter Reibung in einem getheilten Ringe dreht, und das Ocularrohr IL. Die kurze Röhre K enthält das doppeltbrechende Prisma, läßt sich auf der Alhidade IG vor- und rückwärts schieben und mittelst einer Druckschraube darauf befestigen. Das Ocularrohr IL von 0,37 m Länge ist inwendig geschwärzt, und bestimmt, von dem beobachteten Lichtbündel den Einfluß der Seitenstrahlen abzuhalten. An seinem Ocularende trägt dasselbe eine Röhre L, die mittelst Triebes und Zahnstange mehr oder weniger eingeschoben oder ausgezogen werden kann, damit bei den verschiedenen Beobachtern die Bilder in die deutliche Sehweite fallen. Am Objectivende desselben Rohres befindet sich ein Schieber I mit einer verticalen Spalte, welche das Gesichtsfeld begränzt, und in dem auch die in ihrer Mitte doppelt, an den Enden aber nur einfach brechende Bergkrystallplatte (Fig. 4, S. 153) angebracht wird. Die Glasplatte S, welche die durch den Apparat KIL zu beobachtenden reflectirten und durchgelassenen Bündel liefert, ist mittelst Druckschrauben in einem oberhalb des Kreises befindlichen Falze befestigt. Diese Platte liegt sonach in einer verticalen Ebene, welche durch den Mittelpunkt des getheilten Kreises und durch die Mitte des Schirmes MN geht.

Dies Instrument ist der Akademie der Wissenschaften am 11. August 1845 vorgelegt worden. Die Comptes rendus der Sitzungen (Bd. 21) enthalten folgende Angaben:

„Ohne Hilfe von Figuren dürfte es nicht wohl möglich sein, eine richtige und ausreichende Vorstellung von dem Instrumente des beständigen Secretärs zu geben. Wir beschränken uns hier darauf, anzuführen, daß dasselbe leicht zu handhaben ist; daß es mit Sicherheit selbst in Zimmern, wohin das Licht von allen Seiten dringt, sogar unter freiem Himmel angewandt werden kann; daß die Doppelbrechung dabei eine wichtige Rolle spielt; daß Arago, um die Helligkeiten der Oberflächen, welchen er die von den angewandten Glasplatten zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichtbündel entlehnt, nach gewissen Verhältnissen zu ändern, neue Verfahren anwendet; daß bei diesen Verfahren das Verhältniß, in welchem die Oberflächen z. B. die des Papiers je nach ihrer Neigung, ihrem Reflexionsvermögen und der Richtung der beleuchtenden Strahlen u. s. w. Licht auszusenden vermögen, durchaus nicht in Betracht kommt; daß seine Methoden niemals gefärbte Bilder, deren Vergleichung so vielen Schwierigkeiten unterliegt, erzeugen. Zum Nachweise der Genauigkeit seiner Methoden hat Arago die numerischen Resultate einer großen Anzahl von Versuchen

Oberfläche des Glases macht, so nimmt das reflectirte Bild fortwährend zu; das durchgelassene dagegen ab. Eine Vergrößerung der Neigung der Gesichtslinie gegen die Glasfläche würde umgekehrt eine Verminderung des reflectirten und eine Vermehrung des durchgelassenen Lichtes zur Folge gehabt haben. Durch eine Aenderung dieser Neigung in passender Richtung wird es also möglich sein, den Punkt zu treffen, wo die beiden durch die Objectivspalte gesehenen Theile des reflectirten und des zurückgeworfenen Bildes dieselbe Intensität erhalten; oder mit anderen Worten, wir werden auf diese Weise die Neigung bestimmen können, bei welcher die Glasplatte ebensoviel Licht reflectirt, als sie durchläßt. Dieser Winkel beträgt für die Glasplatte, welche zuerst gebraucht wurde, $11^{0}\ 8'$.

Wir wollen nun sehen, ob dieser Apparat uns gegen die verschiedenen Fehlerquellen schützt, womit die Beobachtung behaftet sein könnte.

Zuerst ist einleuchtend, daß kein Fehler aus einer Ungleichheit der Strahlung infolge des Ausstrahlungswinkels entstehen kann, weil in der Voraussetzung einer genau senkrechten Stellung der Platte und des Schirmes gegen einander die durch Reflexion gesehenen Strahlen unter demselben Winkel ausgegangen sind, als die durchgelassenen. Es könnte allerdings der Fall eintreten, daß die Punkte, welche das reflectirte Bild liefern, nicht genau denselben Glanz besäßen, als diejenigen, von denen die durchgelassenen Strahlen ausgehen. Gegen diese Fehlerquelle schützt man sich leicht, wenn man ein Mal rechts und ein zweites Mal links von der Platte beobachtet, und aus den beiden so erhaltenen Resultaten das Mittel nimmt. Wenn die Punkte rechts durch ihren größeren Glanz das reflectirte Bild zu stark machten,

---

und mehrere der von ihm daraus hergeleiteten einfachen und allgemeinen Gesetze angeführt. Da eine baldige Veröffentlichung die Arbeit ihrem ganzen Umfange nach in die Hände der Physiker geben soll, so können wir für den Augenblick uns auf diese kurzen Erläuterungen beschränken. Nur noch ein Wort fügen wir hinzu: Arago hat gezeigt, wie sein Photometer ein vergleichendes Polariskop wird, wenn man eine genaue Tabelle über die Lichtmengen besitzt, welche eine Glasplatte mit parallelen Flächen unter allen möglichen Neigungen durchläßt und reflectirt.

und daher bei der ersten Messung auf einen zu großen Winkel führten, so würden bei einer zweiten Beobachtung dieselben Punkte, weil sie das durchgelassene Bild liefern, einen zu kleinen Winkel geben. Ist die Ungleichheit nur gering, so muß das Mittel aus den beiden Bestimmungen zu einem fast mathematisch genauen Resultate führen.

Man wird ferner hervorheben können, daß das reflectirte und das durchgelassene Bild nicht in derselben Höhe auf die Netzhaut fallen, und das Urtheil also durch ungleiche Empfindlichkeit der verschiedenen Punkte dieses Organs fehlerhaft werden kann: das reflectirte Bild z. B. kann leuchtender erscheinen, als das durchgelassene, nicht weil es wirklich heller ist, sondern weil der Theil der Netzhaut, worauf es sich bildet, empfindlicher ist, als derjenige, welcher dem durchgelassenen Lichte entspricht. Es nimmt nun aber das reflectirte Bild den Ort des durchgelassenen ein, wenn man eine rechts gemachte Beobachtung auf der linken Seite wiederholt, so daß das Mittel zweier solcher Bestimmungen von der eben namhaft gemachten sehr bedenklichen Fehlerquelle unabhängig ist.

Eine dritte Fehlerquelle kann von einer mangelhaften Stellung der Platte in Bezug auf den Radius des getheilten Kreises, von dem aus man die Neigungen zählt, herrühren. Dieser Fehler, den die Astronomen bei ihren Instrumenten den Collimationsfehler nennen, fällt offenbar hinweg, wenn man die halbe Summe der auf der rechten und der auf der linken Seite gemachten Beobachtungen nimmt.

Uebrigens kann der so bestimmte Winkel von $11^{0}\,8'$ als Kriterium bei einer experimentellen Untersuchung der Eigenschaften unseres Schirmes dienen; er wird besonders sich eignen, um zu entscheiden, ob eine streng senkrechte Stellung der Flächen der Glasplatte und der Schirmoberfläche gegeneinander absolutes Erforderniß ist. Gesetzt nämlich, wir verrücken unser Photometer parallel mit sich selbst vor dem Schirme, und vergleichen dies Mal nur die auf einer Seite gemachten Beobachtungen: so werden wir finden, daß das Instrument, ohne irgend eine merkliche Aenderung in den Resultaten, bis auf $1/_2$ Meter rechts und links aus seiner ursprünglichen Stellung (es war dies die größte Verschiebung, welche die Aufstellung des Instrumentes zuließ) verrückt

werden kann; was beweiſt, daß in der Ausdehnung eines Meters der Schirm überall gleich leuchtend iſt.

Nachdem wir das Photometer auf ſeinen anfänglichen Platz zurückgebracht hatten, drehten wir es um ſich ſelbſt, ſo daß die Glasplatte den Papierſchirm unter veränderlichen Neigungen treffen mußte. Bei Verſuchen, wo dieſe Neigung bis zu 20° von der ſenkrechten Stellung abwich, (was Ausſtrahlungswinkeln entſpricht, die von 88° bis 63° variiren), hat ſich ſtets im Mittel 11° 8′ für die Neigung ergeben, wo das durchgelaſſene Licht dem reflectirten Lichte gleich war; woraus eine vollſtändige Gleichheit zwiſchen dem ſenkrecht und dem unter 63° Neigung ausgeſandten Lichte hervorgeht.

Man muß wohl beachten, daß möglicherweiſe dieſe Reſultate für einen Schirm von anderer Natur oder Aufſtellung keine Geltung haben können; für uns war allein der Nachweis von Wichtigkeit, daß der von uns benutzte Schirm unzweifelhaft die ausgeſprochenen Eigenſchaften beſaß.

Es treten bei dieſer Art von Verſuchen unvorhergeſehene Schwierigkeiten ein, auf welche es unerläßlich iſt Rückſicht zu nehmen. Wir haben z. B. bemerkt, daß die Beobachtung der hellen Spalten im reflectirten und durchgelaſſenen Lichte, wenn das übrige Auge ſich in völliger Dunkelheit befindet, ermüdet und eine etwas geringere Sicherheit gewährt, als das Verfahren, das wir dafür gewöhnlich angewandt haben und jetzt näher angeben wollen.

Wir entfernen ganz und gar die geſchwärzten Platten auf der rechten und linken Seite, und befeſtigen vor dem Schirme an den früher von den Spalten eingenommenen Orten zwei ſchwarze Nadeln. *) Die Röhre zum Durchblicken ſtehe wiederum rechts von der Glasplatte. Das volle Licht des Schirmes fällt auf dieſe Platte und erſcheint nur in der Richtung vom Schirme zu der ſchwarzen Nadel aufgehalten. Das Auge erblickt eine Art von Schatten dieſer Nadel durch Reflexion; wodurch aber das durchgelaſſene Licht nicht gehindert wird, in der

*) Die hier im Texte erwähnten Nadeln ſind in den obigen Zeichnungen des Photometers (Fig. 6 und 7, S. 156 u. 157) an Stelle der geſchwärzten Platten, deren Gebrauch ſchwieriger iſt, abgebildet worden.

Richtung dieſes Schattens frei in das Auge zu bringen. Die auf der entgegengeſetzten Seite liegende Nadel projicirt ſich auf den Schirm und hindert das entſprechende Licht, das Auge zu erreichen. Dieſe Nadel bildet alſo ebenfalls eine Art Schatten im durchgelaſſenen Lichte, über welchen ſich die auf der Glasplatte reflectirten Strahlen des Schirmes legen. Das allgemeine Feld der Glasplatte wird alſo gleichzeitig erhellt von dem reflectirten und von dem durchgelaſſenen Lichte; auf ihm erſcheinen ein Bild der reflectirten Nadel, erhellt durch das ganze durchgelaſſene Licht, und ein Bild der anderen im durchgehenden Lichte ſtehenden Nadel, erhellt durch das geſammte von der Glasplatte reflectirte Licht. Es iſt einleuchtend, daß die Beobachtung der beiden auf dieſe Weiſe beleuchteten Nadeln zu demſelben Reſultate führen muß, wie die Beobachtung der beiden Spalten; ein Unterſchied liegt nur darin, daß im erſten Falle das Licht der beiden Spalten von einer vollſtändigen Dunkelheit umgeben war, während im zweiten Falle das gleichſtarke Licht der beiden Nadeln von einem hellen Grunde umgeben iſt. Letzterer Umſtand macht die Beobachtung weniger beſchwerlich, ohne ihre Genauigkeit zu verringern, was nur phyſiologiſch erklärt werden kann.

Wir haben ſo eben über die Beobachtung berichtet, welche uns zur Beſtimmung der Neigung geführt hat, unter welcher das zurückgeworfene Licht dem durchgelaſſenen gleich iſt. Man wird ſogleich ſehen, daß eben dieſes Beobachtungsſyſtem zur Ermittelung desjenigen Winkels dient, unter welchem das reflectirte Licht die Hälfte des durchgelaſſenen iſt.

Geſetzt nämlich, anſtatt nach dieſem durchgelaſſenen Lichte mit freien Augen zu viſiren, laſſe man daſſelbe durch den mittleren, die beiden keilförmigen Stücke enthaltenden Theil der obigen Quarzplatte hindurchgehen, während das reflectirte Bild einen der ſeitlichen Theile eben dieſer Platte, welche keine Doppelbrechung beſitzen, durchläuft. Durch allmäliche Aenderung der Richtung des Rohres läßt ſich dann die Neigung ermitteln, unter welcher das eine der prismatiſchen Bilder des durchgelaſſenen Lichtes der Geſammtheit des reflectirten Lichtes gleich iſt. Da aber jedenfalls das durchgelaſſene Licht durch Brechung polariſirt iſt und im Allgemeinen bei ſeinem Durchgange durch die keilförmigen Stücke

der Platte zwei Bilder von ungleicher Intenſität liefert: ſo muß man darauf achten, jene Platte in die Lage zu ſtellen, wo die beiden prismatiſchen Bilder genau dieſelbe Intenſität erhalten; oder was auf daſſelbe hinauskommt und gewöhnlich bequemer ſein wird, man muß in die Bahn des durchgelaſſenen und reflectirten Strahles eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene Bergkryſtallplatte mit parallelen Flächen ſtellen, welche durch ihre Einwirkung das durch ſie hindurchgehende polariſirte Licht in zwei rechtwinklig auf einander polariſirte Bündel verwandelt, ſo daß dieſes Licht beim Durchgange durch die keilförmigen Stücke der Platte ſich nothwendig in zwei Bündel von gleicher Helligkeit ſpalten muß. Man ſieht ein, daß es möglich iſt, durch Anwendung zweier Prismen anſtatt eines einzigen, dahin zu gelangen, (vorausgeſetzt, daß man angemeſſene Mittel anwendet, um ſtets die ſucceſſive geſpaltenen Bündel gleich zu machen), die Neigung zu beſtimmen, bei welcher das reflectirte Licht ein Viertel des durchgelaſſenen beträgt. Wendet man dieſelbe Methode auf das unter kleineren Winkeln reflectirte Licht an, ſo führt ſie zur Kenntniß der Neigungen, bei welchen das reflectirte Licht das Doppelte und das Vierfache des durchgelaſſenen iſt.

Um ſich bei dieſer neuen Art von Beobachtungen von der ungleichen Empfindlichkeit der verſchiedenen Netzhautpunkte unabhängig zu machen, verſchiebt man bei aufeinanderfolgenden Beobachtungen die Spalten oder Nadeln in der Weiſe, daß das geſpaltene Lichtbündel bald oberhalb und bald unterhalb desjenigen liegt, welches keine Halbirung erlitten hat.

Durch dieſe in zweckmäßiger Weiſe angewandten Methoden iſt beſtimmt worden:

Der Winkel von 4° 32′, bei welchem das von einer Platte reflectirte Licht das Vierfache des durchgelaſſenen iſt.

Der Winkel von 7° 1′, bei welchem das reflectirte Licht doppelt ſo ſtark als das durchgelaſſene iſt.

Der Winkel von 11° 8′, bei welchem das reflectirte und das durchgelaſſene Licht gleiche Intenſität beſitzen.

Der Winkel von 17° 17′, bei welchem das reflectirte Licht die Hälfte des durchgelaſſenen beträgt.

Der Winkel von 26° 38′, bei welchem das reflectirte Licht ein Viertel des durchgelassenen erreicht.

Vergleicht man das reflectirte Licht mit dem Viertel des Lichtes der Spalte, welche sich frei auf den Schirm projicirt, so ist es außer der vorhergehenden Reihe auch noch möglich, den Winkel zu bestimmen, bei welchem das reflectirte Licht gleich dem vierten Theile des gesammten Lichtes ist. Wenn nun ein Viertel des gesammten Lichtes reflectirt wird, gehen drei Viertel hindurch; der auf diese Weise bestimmte Winkel von 21° 39′ ist also derjenige, bei welchem das reflectirte Licht ein Drittel des durchgelassenen ausmacht.

Auf Grundlage dieser Versuche, welche für ein Intervall von ungefähr 22 Grad sechs Bestimmungen geben, haben auf meine Bitten die Herren Laugier und Petit den Versuch wagen dürfen, durch die bekannten Interpolationsformeln die Mengen des bei den verschiedenen zwischen den direct bestimmten Winkeln liegenden Neigungen reflectirten und durchgelassenen Lichtes zu bestimmen.

Tafel über die unter verschiedenen Neigungen von einer Glasplatte mit parallelen Flächen reflectirten und durchgelassenen Lichtmengen.

Einfallswinkel.	Reflectirtes Licht.	Durchgelassenes Licht.
4°	0,7643 *)	0,2357
6	0,7060	0,2940
8	0,6260	0,3740
10	0,5346	0,4654
12	0,4685	0,5315
14	0,4097	0,5903
16	0,3604	0,6396
18	0,3190	0,6810
20	0,2806	0,7194
22	0,2437	0,7563
24	0,2121	0,7879
26	0,1977	0,8023
28	0,1878	0,8122

*) Siehe die Bemerkung S. 173.

Anmerk. d. d. Ausg.

Einfallswinkel.	Reflectirtes Licht.	Durchgelassenes Licht.
30°	0,1793	0,8207
32	0,1721	0,8279
34	0,1671	0,8329
36	0,1609	0,8391
40	0,1525	0,8475
44	0,1458	0,8542
48	0,1400	0,8600
52	0,1341	0,8658
56	0,1282	0,8718
60	0,1215	0,8785
64	0,1148	0,8852
68	0,1080	0,8920
72	0,1012	0,8988
76	0,0944	0,9056
80	0,0876	0,9124
84	0,0850	0,9150
88	0,0824	0,9176
90	0,0812	0,9188

Durch den Versuch direct bestimmte Winkel, die zur Construction der vorhergehenden Tabelle gedient haben.

Einfallswinkel.		Reflectirtes Licht in Theilen des einfallenden
4°	32′	0,7500
7	1	0,6667
11	8	0,5000
17	17	0,3333
21	39	0,2500
26	38	0,2000
36	36	0,1595
46	22	0,1423
56	17	0,1280
70	26	0,1028
89	26	0,0810

Mittelſt der in dieſer erſten Tafel verzeichneten directen und interpolirten Zahlenwerthe wollen wir jetzt das Geſetz des Coſinusquadrats nicht mehr, wie wir bereits gethan haben*), für Strahlen, welche in ihrem Gange zuſammenfallen, ſondern vielmehr auch für ſolche Strahlen als richtig nachweiſen, die beſtändig getrennt bleiben.

Geſetzt die Spalte der einen geſchwärzten Platte projicire ſich auf den Schirm unmittelbar oberhalb der Glasplatte; eine zweite, etwas tiefer geſtellte Spalte laſſe ferner das Licht des Schirmes auf das Glas fallen, ſo daß dieſer auf ſolche Weiſe durch Reflexion geſehen wird. Wir zerlegen das erſte Licht mittelſt des keilförmigen Theiles der Platten, deren wir uns oben bereits bedient haben, und berückſichtigen nur das hierbei erhaltene regelmäßige Bild. Wir zerlegen weiter das Licht dieſes regelmäßigen Bildes mittelſt eines neuen Prismas, deſſen Hauptſchnitt ſeiner Lage nach in Bezug auf den Hauptſchnitt des erſten Prismas mittelſt eines getheilten Kreiſes genau beſtimmt werden kann. Die Umdrehung dieſes zweiten Prismas wird dem von dem erſten Prisma gelieferten regelmäßigen Bilde, je nachdem die Hauptſchnitte der beiden Prismen untereinander mehr oder weniger große Winkel bilden, mehr oder weniger beträchtliche Strahlenmengen entziehen. In jeder Lage kann man das ſo geſchwächte regelmäßige Bild mit dem unmittelbar darunter liegenden, durch Reflexion auf der Glasplatte entſtandenen Bilde vergleichen. Durch Aenderung der Lage der Geſichtslinie läßt ſich nun die Neigung ermitteln, bei welcher das reflectirte Bild dem übrig gebliebenen Reſte des regelmäßigen Bildes gleich iſt. Wenn aber die Stärke jenes reflectirten Lichtes bekannt iſt, und die obige Interpolationstafel gibt dieſelbe genau, ſo iſt man im Beſitz der Mittel, zu erfahren, ob die Intenſitäten des gewöhnlichen Bildes mit den nach dem Geſetze des Coſinusquadrats berechneten übereinſtimmen.

Bei geſchehener Prüfung iſt die nach dem Geſetze des Coſinusquadrats berechnete Intenſität des regelmäßigen Bildes ſtets bis auf wenige Hundertſtel genau durch die in den Interpolationstafeln verzeichneten Zahlenwerthe dargeſtellt worden.

*) Erſte Abhandlung über Photometrie, S. 143.

Es mögen hier die numerischen Resultate von zwei solchen Versuchen Platz finden:

1) Als die Hauptschnitte der beiden Prismen untereinander einen Winkel von 30° bildeten, erschien das regelmäßige Bild, nach welchem visirt wurde, geschwächt. Wird diese Schwächung nach dem Verhältnisse des Cosinusquadrats berechnet, so erhält man für den in diesem Bilde gebliebenen Rest die Zahl 0,375.

Andererseits war das auf diese Weise geschwächte Bild dem auf der Glasfläche reflectirten Bilde der Nadel gleich, wenn man es unter der Neigung von 14° 48′ prüfte, was nach der Interpolationstafel einer durch 0,390 dargestellten Intensität entspricht.

2) Eine zweite Beobachtung, bei welcher die Hauptschnitte beider Krystalle untereinander einen Winkel von 15° bildeten, hat respective gegeben:

Für das nach dem Gesetze des Cosinusquadrats geschwächte Bild	0,466
Für dieselbe Intensität, direct durch den Versuch bestimmt	0,467

Es ist wichtig, zu bemerken, daß die Intensitätstafel, wie wir sie aufgestellt haben, die Verhältnisse des reflectirten Lichtes zum durchgelassenen gibt, indem sie die Strahlen, welche an den Oberflächen bei dem Acte der Zurückwerfung oder der Brechung ausgelöscht sein können, in Bausch und Bogen in Anschlag bringt, und daß also diese Tafeln nur unter der Annahme, daß jene eben erwähnten Auslöschungen von Licht unmerklich sind, zu einer wirklichen Bestätigung des Gesetzes des Cosinusquadrats führt.

Es ist daher nothwendig in specieller Weise diesen Punkt der Frage zu studiren, um den Zahlen, welche die Tafel enthält, ihren wahren Werth beilegen zu können. Zur Entscheidung, ob jene Auslöschungen von Licht, welche die Theorie vorher sehen mußte, merklich sind oder vernachlässigt werden können, ist folgender Versuch ausgeführt worden.

Während die Glasplatte, welche einen Theil des Photometers ausmacht, senkrecht auf dem Schirme steht und das Rohr eine Neigung

von 11° 8′ hat, wobei das durchgelaſſene und das reflectirte Bild gleich ſind, ſtellt man z. B. in den Weg der durchgelaſſenen Strahlen in geringem Abſtande eine zweite Glasplatte mit der erſten parallel auf. Dieſe zweite Platte führt gleichzeitig auf die erſte unter dem Winkel von 11° 8′ reflectirte und ebenſo unter demſelben Winkel durchgelaſſene Strahlen; um Alles kurz zu ſagen, man ſetzt an die Stelle des Lichtes, welches direct vom Schirme kommend, durchgelaſſen wurde, zwei Bündel, welche vereinigt dieſes direct vom Schirme auf die Platte gelangende Licht bilden müßten, wenn die reflectirten und durchgelaſſenen Strahlen keine Auslöſchung erlitten haben, dagegen ein um den ganzen Verluſt, welchen das reflectirte und durchgelaſſene Bündel erlitten haben, geſchwächtes Licht erzeugen, wenn ein ſolcher Verluſt exiſtirt. In dieſem letzteren Falle hätte man anſtatt 11° 8′ für den Winkel, unter welchem die beiden Lichter gleich ſind, einen größern finden müſſen, was aber den Beobachtungen widerſpricht.

Die Einſchaltung der Hülfsplatte nicht mehr in einer der Glasplatte des Photometers parallelen Stellung, ſondern in einer ſchiefen Richtung, hat genau daſſelbe Reſultat geliefert.

Wir können alſo ſchließen, und dies Reſultat iſt von äußerſter Wichtigkeit, daß, was man auch darüber geſagt haben möge, weder bei dem Acte der Reflexion, noch bei dem der Brechung ein merklicher Theil Licht ausgelöſcht wird, ſo daß die von uns aufgeſtellte Tafel in Wirklichkeit die Verhältniſſe des reflectirten und durchgelaſſenen Lichtes gibt.

Ich habe ſo eben der Akademie die vollſtändige photometriſche Tafel vorgelegt, welche für alle zwiſchen 0° und 90° liegenden Neigungen die reſpectiven Mengen des von einer Glasplatte mit parallelen Flächen durchgelaſſenen und reflectirten Lichtes enthält.

Indeß will ich bemerken, daß mir noch übrig bleibt zu erklären, wie man von den geringen Neigungen zu nahe ſenkrechten Incidenzen übergegangen iſt. Dieſe Erklärung iſt nöthig, weil die bis jetzt erläuterte Methode nur bis zu einem Winkel von 26° angewandt wurde. Man würde allerdings über dieſen Winkel haben hinausgehen können, wenn man nicht von einer Beſtimmung der Neigung, bei welcher das

reflectirte Licht den achten Theil des durchgelaſſenen beträgt, durch einige Schwierigkeiten, die übrigens nicht unüberſteigbar ſind, abgehalten worden wäre. Es iſt übrigens unerläßlich, andere Verfahrungsweiſen, die ich in meiner dritten Abhandlung über Photometrie erläutern werde, zu Hilfe nehmen.

Schließlich muß noch das Brechungsvermögen des Glaſes, woraus die angewandten Platten gebildet waren, geſucht werden; dieſe Beſtimmung fordert einfach, daß man kleine Stücken von dieſen Platten abſchneidet und ihnen eine prismatiſche Form gibt. Der der Tafel beigefügte Brechungsinder *) iſt von optiſchem Geſichtspunkte aus die wahre Definition meiner Glasplatten.

In der angekündigten dritten Abhandlung, welche ich die Ehre haben werde, der Akademie in wenigen Tagen vorzulegen, werde ich zeigen, wie man von den in obiger Tafel enthaltenen Zahlenwerthen zu den Beſtimmungen der von der erſten Oberfläche des Glasſpiegels oder von polirten Metallen reflectirten Lichtmengen übergeht; wie man ferner zu einer definitiven Löſung mehrerer wichtiger Fragen, über welche die Anſichten der Phyſiker vollſtändig auseinander gehen, gelangen kann.

Ich füge nur noch ein Wort hinzu, um auf eine Frage zu antworten, die nach meiner erſten Mittheilung an mich gerichtet wurde. Dieſe Frage lautete: Würden Sie ſich nicht des Leslie'ſchen Photometers bedienen können, um die Aufgaben, von denen Sie uns unterhalten, zu löſen? — Meine Antwort iſt ſehr einfach: Unabhängig von mehreren ſpeciellen Schwierigkeiten, die ich hier nicht einzeln aufzählen will, bemerke ich, daß das Inſtrument, welchem unſer berühmter College den Namen Photometer gegeben hatte, gleichzeitig durch Abſorption des Lichtes und der dunkeln Wärme, welche das Licht begleitet, wirkt, ſo daß daſſelbe, wie ich vor vielen Jahren gefunden habe **), ſteigt, wenn man es dem Sonnenlichte ausſetzt; ſinkt, wenn

*) Dieſer Brechungsinder findet ſich bei jener Tafel nicht angegeben. Anmerk. d. d. Ausg.

**) Man ſehe den Anhang in dieſem Bande.

es von dem Lichte des Feuers getroffen wird, und bei der Einwirkung des von einer Argand'schen Lampe ausgehenden Lichtes fast stationär bleibt. Diese einzige Thatsache genügt, um zu zeigen, wie wenig das Leslie'sche Photometer zur Bildung solcher Intensitätstafeln, wie ich sie vorgelegt habe, geeignet ist. Nichts desto weniger beabsichtige ich, diese Eigenthümlichkeit im Gange des Leslie'schen Photometers zu benutzen, um eine wichtige Frage in Bezug auf die relativen Reflexionen des Lichtes und der Wärme zu lösen. *)

*) Die erste Zahl 0,7500 der zweiten Tafel auf S. 168, sowie die beiden Zahlen der ersten Reihe 0,7643 und 0,2357 auf S. 167 sind offenbar falsch. Anstatt 0,7500 muß es 0,8000 heißen, und anstatt 0,7643 muß eine Zahl größer als 0,8000 (ungefähr 0,83) und anstatt 0,2357 eine Zahl kleiner als 0,2000 (ungefähr 0,17) stehen. Wahrscheinlich werden auch die Zahlen der zweiten Reihe von diesem Fehler noch in einem gewissen Grade betroffen. Es ist zu bedauern, daß die einzelnen Messungen, deren Mittelwerthe die zweite Tafel auf S. 168 enthält, nicht mitgetheilt worden sind, da sie in gewisser Weise zur Beurtheilung der Genauigkeit der erhaltenen Resultate dienen könnten. Die Differenzen der Werthe der ersten Tafel zeigen besonders um 26° einen sehr auffälligen Gang, was möglicherweise mit dem in der Anmerkung auf S. 178 bezeichneten Umstande zusammenhängen kann.

H.

Dritte Abhandlung über Photometrie.

Geleſen in der Akademie der Wiſſenſchaften am 15. April 1850.*)

I.

Beſtimmung der von einer Glasplatte unter ſehr großen Winkeln reflectirten und durchgelaſſenen Lichtmengen.

Phyſiker, welche mir die Ehre erzeigen wollen, meine photometriſchen Verſuche zu wiederholen, haben einige Aufklärungen über den Gebrauch der von mir angewandten Apparate verlangt.

*) Bis jetzt nicht veröffentlichte Abhandlung, aus welcher die Comptes rendus der Akademie nur nachſtehenden Auszug enthalten:

„In ſeinen zwei erſten Mittheilungen hat der Verfaſſer gezeigt, wie es möglich iſt, eine Tafel der von einer Glasplatte unter kleinen Neigungen, von der Oberfläche aus gerechnet, (unter Neigungen zwiſchen 4 und 26°) zurückgeworfenen und durchgelaſſenen Lichtmengen zu conſtruiren.

„Heute hat er dargelegt, auf welche Weiſe es möglich iſt, von dieſen Reſultaten zu den Werthen überzugehen, welche die unter größeren Winkeln reflectirten und durchgelaſſenen Lichtmengen darſtellen.

„Sonach kennen alſo die Phyſiker in allen ihren Einzelheiten die Methode, durch welche die der Akademie vorgelegte und aus den unter Arago's Leitung von Laugier und Petit ausgeführten Experimenten und Rechnungen hervorgegangene photometriſche Tafel gebildet worden iſt.

„Darauf hat der Verfaſſer der Abhandlung gezeigt, wie dieſe Methode zur Beſtimmung des Lichtverluſtes bei der Reflexion auf Metalloberflächen angewandt werden kann. Die Verſuche haben ſich auf Spiegel von Platin, Stahl und auf die zur Fabrication von Teleſkopſpiegeln dienende Legirung erſtreckt. Da indeß dieſe

Sie fragen z. B., wie man sich überzeugen könne, daß die Bergkrystallplatte, welche ich in den zur Verification des Gesetzes des Cosinusquadrats dienenden Versuchen an die Stelle des analysirenden Prismas gesetzt habe, mit den Kanten des sechsseitigen Prismas genau parallel ist.

Ich antworte, daß dieser genaue Parallelismus keineswegs nöthig ist; es genügt, daß die angewandte Platte nicht senkrecht zur Axe des Krystalls geschnitten ist; denn in diesem Falle würde man anstatt der beschriebenen Phänomene die Erscheinungen der von mir im Jahre 1811 entdeckten *) circularen Polarisation, mit denen sich Biot so viel beschäftigt hat, erhalten.

Man fragt mich ferner, wie ich mich versichere, daß die dem analysirenden Prisma substituirte Platte gegen den sie durchdringenden Strahl senkrecht steht.

Da für das Gelingen des Versuchs diese streng senkrechte Stellung durchaus nicht erforderlich wird, so liegt kein Grund vor, sie herzustellen zu suchen, ebensowenig als den genauen Parallelismus der beiden Flächen der Platte.

Spiegel vom chemischen Gesichtspunkte aus nicht sehr rein waren, so sollen die Versuche nächstens wiederholt werden.

„In dieser neuen Arbeit hat der Verfasser seine Aufmerksamkeit besonders auf die von Bouguer angegebenen sehr beträchtlichen Lichtverluste gerichtet, welche in dem Acte der totalen Reflexion auf der zweiten Oberfläche der Körper und selbst bei den Incidenzen, wo nur eine partielle Reflexion erfolgt, eintreten sollen. Seine Beobachtungen weisen keinen merklichen Lichtverlust nach. Bouguer hatte für den Winkel der totalen Reflexion den Verlust zu einem Drittel oder Viertel des einfallenden Lichtes bestimmt; von Potter ist bereits das Unrichtige dieses Resultates nachgewiesen worden; Arago's neue Beobachtungen zeigen, daß der Verlust, wenn ein solcher überhaupt vorhanden ist, sicherlich nicht auf den hundertsten Theil des ganzen Lichtes steigt.

„In dem letzten Theile der in dieser Sitzung der Akademie vorgelegten Abhandlung hat es Arago sich angelegen sein lassen, in Zahlen die Empfindlichkeit des Polariskops anzugeben. Er hat gefunden, daß dies Instrument in einem Lichtbündel unzweifelhaft $^1/_{80}$ polarisirtes Licht anzeigt. Man kann diese Zahl als Werth des mittleren Empfindlichkeitsgrades eines nicht ermüdeten Auges ansehen, denn Laugier, Petit und Charles Mathieu sind zu demselben Resultate gekommen."

*) S. oben S. 46.

Anſtatt der in der erſten Abhandlung enthaltenen Ausdrücke wird man alſo ſagen müſſen: geſetzt man nehme eine nahezu in einer mit den Kanten des ſechsſeitigen Prismas parallelen Richtung geſchnittene Bergkryſtallplatte mit nahezu parallelen Flächen, und bringe ſie in eine nahe ſenkrechte Stellung gegen den durch ſie hindurchgehenden polariſirten Strahl; die Platte wird die doppelte Brechung beſitzen, und die in der Abhandlung enthaltene Erklärung zu keiner weitern Schwierigkeit Veranlaſſung geben können.

Bevor ich auf die Fragen, welche den ſpeciellen Gegenſtand dieſer dritten Abhandlung bilden, eingehe, will ich bemerken, daß die Vergleichungen zwiſchen Theorie und Erfahrung, die man verlangt, ein beſonderes Kapitel bilden werden; daß ich es aber für angemeſſen gehalten habe, zunächſt ohne irgend eine Einmiſchung theoretiſcher Betrachtungen die Reſultate der directen Verſuche zu entwickeln.

Ich gehe jetzt zum Nachweiſe der Mittel über, durch welche die von einer Glasplatte unter wenig von 90° (von der Oberfläche aus gezählt) verſchiedenen Neigungen reflectirten und durchgelaſſenen Lichtmengen ermittelt worden ſind.

Wir beſitzen bereits eine Tafel, welche die von einer Glasplatte mit parallelen Flächen bei Neigungen von 4° bis 26° reflectirten und durchgelaſſenen Lichtmengen liefert.

Dieſe Tafel iſt aus Verſuchen conſtruirt worden, die gebieteriſch forderten, daß das vom Schirme ausgegangene und durch Reflexion von der Glasplatte dem Auge zugeſandte Licht genau dieſelbe Intenſität beſaß, wie das von einem andern Punkte deſſelben Schirmes ausgegangene und nach dem Durchdringen der Platte das Auge erreichende Licht. Die Reſultate, welche wir über die von der Glasplatte reflectirten und durchgelaſſenen Lichtmengen erhalten und in der obigen Tafel zuſammengeſtellt haben, ſind aber darum nicht weniger allgemein; ſie gelten alſo ebenfalls für Strahlen, welche von Punkten des Schirmes ausgehen, die nicht genau dieſelbe Intenſität haben würden. Wenn man alſo z. B. nach dieſer Methode findet, daß das unter einem gewiſſen Winkel durchgelaſſene Licht $^7/_{10}$ des einfallenden Lichtes ausmacht, ſo iſt dies Reſultat allgemein, und enthält keine Spur von dem Verfahren, wodurch es gewonnen worden iſt.

Dies vorausgeſchickt, ſtellen wir in die Bahn des Strahles, der nach ſeinem Durchgange durch die Glasplatte das Auge erreichen ſoll, eine andere Glasplatte in eine mehr oder weniger gegen dieſes Bündel, welches durch ſie gleichfalls hindurchgehen ſoll, geneigte Lage; dieſe letztere Platte wird einen Theil des einfallenden vom Schirme her kommenden Bündels aufhalten, und folglich der Strahl die feſtſtehende Glasplatte des Photometers erſt etwas geſchwächt erreichen; gerade die Größe dieſer Schwächung wollen wir aber beſtimmen. Geſetzt nun, wir hätten uns überzeugt, daß z. B. erſt unter dem Winkel von 19° 20′ das reflectirte Bild, welches von dem Lichte herrührt, das direct auf die Glasplatte des Photometers gelangt, dem hindurchgegangenen Lichte gleich ſei, welches durch die in die Bahn der Strahlen eingeſchobene Glasplatte geſchwächt worden iſt. In die Sprache der Algebra überſetzt, entſpricht dies folgender Gleichung:

0,3 eines gewiſſen Lichtbündels = 0,7 deſſelben Bündels nach ſeiner Schwächung;

folglich iſt

$$\text{das geſchwächte Bündel} = \text{dem directen Bündel} \times \frac{0{,}3}{0{,}7}.$$

Man ſieht, daß dieſe Methode den Grad von Abſchwächung gibt, welche das Licht des Schirmes unter allen verſchiedenen Winkeln erleiden wird, ſobald die Tafel für nahe an der Oberfläche liegende Incidenzen vorher conſtruirt iſt.

Ich gebe ein zweites Zahlenbeiſpiel, um das Verſtändniß des Verfahrens zu erleichtern. Unter dem Winkel von 11° 42′ ſei das reflectirte Bild des frei von einem Punkte des Schirmes auf die feſtſtehende Glasplatte des Photometers auffallenden Lichtes gleich dem durchgelaſſenen Bilde, das von einem gleich ſtark erleuchteten Punkte des Schirmes herrührt, aber vor ſeinem Auffallen auf die feſtſtehende Platte des Photometers durch Zwiſchenſetzung einer Glasplatte unter dem Winkel von 87° 24′ geſchwächt worden iſt. Die Tafel (S. 167) gibt uns bei dieſem Winkel von 11° 42′ für das reflectirte Licht 0,4784 und für das durchgelaſſene 0,5216.

Wir haben alſo

0,4784 des nicht veränderten Bündels = 0,5216 des geſchwächten Bündels,

oder

$$\text{das geschwächte Bündel} = \frac{0{,}4784}{0{,}5216} \text{ des nicht veränderten Bündels}$$

$$= 0{,}9172 \text{ dieses letztern Bündels.}$$

Unter dem Winkel von 87° 24′ läßt also eine Glasplatte 0,9172 des einfallenden Lichtes durch und reflectirt davon 0,0828.

Aus diesem Beispiele wird man erkennen, wie die Versuche ausgeführt worden sind, welche es möglich gemacht haben, die in meiner zweiten Abhandlung über die Photometrie (S. 168) bezüglich der von einer Glasplatte reflectirten und durchgelassenen Lichtmengen mitgetheilte Tafel bis zu der senkrechten Incidenz zu erweitern.*)

II.

Ermittelung des Lichtverlustes an der Oberfläche der Metalle.

Die Bestimmung des Verlustes, welchen das Licht bei seiner Reflexion auf Metallen erleidet, datirt, um es offen zu sagen, kaum erst von den Beobachtungen Bouguer's. Man findet in der That in einer Abhandlung, wo Huygens die Vorzüge des Newton'schen Teleskops untersucht, sehr ausführlich die Ansicht ausgesprochen, daß ein gut polirter Metallspiegel die gesammte auf ihn fallende Lichtmenge reflectirt. Huygens eigene Worte sind: „Durch die Reflexion

*) Meines Erachtens nach leidet die von Arago im Vorstehenden beschriebene Methode, wenigstens so wie er sie darstellt, an demselben Fehler, den er S. 121 den früheren Verfahrungsweisen von Bouguer und Lambert macht. Das durch die eingeschaltete Glasplatte gegangene Licht ist zum Theil polarisirt, und erfährt also auf der feststehenden Platte des Photometers eine ganz andere Reflexion, als das auf diese Platte fallende nicht polarisirte Licht. Arago deutet aber mit keiner Silbe auf diesen Umstand oder seine Beseitigung, die übrigens leicht ausführbar wäre, hin. Ohne weitere Erläuterungen dürften daher die auf S. 168 angegebenen Werthe des unter Winkeln von 36° 36′ bis 89° 26° reflectirten Lichtes nicht als ganz genau betrachtet werden (vergl. Anmerk. auf S. 173); die Abweichung der gemachten Angaben von den wahren Werthen würde übrigens bei den größern Winkeln, wegen einer geringeren Polarisation des durchgegangenen Strahles geringer werden als bei den gegen 36° 36′ hin liegenden Winkeln.

H.

auf dem Metallspiegel gehen keine Strahlen verloren." *) Dies Resultat, dessen Unrichtigkeit um so mehr in Erstaunen setzen muß, als Huygens mit der Eigenschaft eines berühmten Mathematikers zugleich die eines geschickten Experimentators vereinigte, wurde durch Bouguer's Beobachtungen berichtigt.

Dieser gelehrte Akademiker sagt (jedoch ohne weder die chemische Zusammensetzung der Legirung, noch auch die Verfahren, mittelst deren er seinen Spiegel polirt hatte, anzugeben), daß auf Metallspiegeln die Menge des reflectirten Lichtes bei 15° Neigung, von der Oberfläche aus gerechnet, 0,561 des einfallenden Lichtes betrage.

Ferner hat er unveränderlich gefunden, daß die Quantität des reflectirten Lichtes in dem Maaße zunimmt, als die Neigung sich verringert. Während das reflectirte Licht bei 15° Neigung 0,561 des einfallenden betrug, überstieg es bei den zwischen 11° und 3° liegenden Neigungen 0,7. (Traité d'Optique liv. II, sect. 2.)

Diesem letztern Resultate (der Zunahme des reflectirten Lichtes durch eine Verkleinerung der Neigung) widersprechen ausdrücklich die Versuche Potter's, welcher findet, daß die reflectirte Lichtmenge in dem Maaße wächst, als der Einfallswinkel sich vergrößert; Potter gibt selbst die Zahlenwerthe für diese Zunahme an. Bei solchen widersprechenden Resultaten war es von Wichtigkeit, diesen Punkt der Photometrie neuen Prüfungen zu unterwerfen.

Die Methode, deren ich mich zu diesem Zwecke bedient habe, ist derjenigen analog, durch welche wir die Schwächung des Lichtes bei seinem Durchgange durch Glasplatten gefunden haben.

Man sucht den Winkel, unter welchem das vom Spiegel reflectirte und nach seinem Durchgange durch die feststehende Glasplatte des Photometers ins Auge gelangende Licht des Schirmes gleich dem direct vom Schirme auf eben diese Platte fallenden und von letzterer reflectirten Lichte ist.

Die oben angeführte, schon mehrfach benutzte photometrische Tafel gibt für den so bestimmten Winkel die Verhältnisse des reflectirten und

*) Vergl. Arago's Werke Bd. XIV. S. 638.
Anmerk. d. d. Ausg.

des durchgelaſſenen Lichtes, wovon das erſtere direct vom Schirme auf die feſtſtehende Glasplatte des Photometers fällt, während das zweite durchgelaſſene Licht erſt nach ſeiner Schwächung durch den Spiegel das Auge erreicht. Da dieſe beiden Mengen der Annahme nach gleich ſind, ſo leitet man daraus durch Auflöſung einer einfachen Gleichung vom erſten Grade die auf dem Metalle verloren gegangene Lichtmenge her.

Die Reſultate der Verſuche waren folgende:

	Intenſität des unter dem Winkel von 16° reflectirten Bündels	Intenſität des unter dem Winkel von 36° reflectirten Bündels	Verluſt an reflectirtem Lichte unter d. Winkel v. 36° im Verhältniß zu dem bei 16° reflectirten Lichte, letzteres gleich 100 geſetzt
Platin auf Papier polirt	0,68	0,54	20
Stahl auf Tuch polirt	0,68	0,44	35
Teleſkopſpiegel	0,57	0,46	19

Dieſe Reſultate beweiſen mit voller Evidenz, daß die Intenſität der Reflexion in dem Maaße wächſt, als die Neigung, von der Oberfläche aus gerechnet, ſich verkleinert. Dieſe Zunahme befolgt nicht für alle Metalle daſſelbe Geſetz.

Was hat dieſen vollſtändigen Gegenſatz zwiſchen unſern und Potter's Reſultaten veranlaßt? Iſt es die Beſchaffenheit der Politur, die Richtung der beim Poliren auf dem Metalle gebildeten Furchen? Die Entſcheidung hierüber läßt ſich noch nicht geben.

Meine Verſuche ſind an Spiegeln gemacht worden, die ich in meiner Sammlung vorräthig hatte, wo ſie ſeit vielen Jahren lagen. Unſer College, Herr Pelouze, dem Herr Laugier ſie zur chemiſchen Unterſuchung übergeben, fand, daß die Platinſpiegel nicht rein waren, ſondern unter Andern etwas Kupfer enthielten. Dieſe Verſuche müſſen alſo mit vollkommen reinen Metallen oder mit ſcharf beſtimmten Legirungen wieder vorgenommen werden. Nach den gewöhnlichen photometriſchen Verfahrungsweiſen würde dies eine beträchtliche Arbeit ſein; die Einfachheit der von mir vorgeſchlagenen Methode iſt aber der Art, daß die Verſuche eines oder zweier Tage genügen, um die

neuen Reſultate zu gewinnen, wenn die zu prüfenden Spiegel von den Optikern geliefert ſein werden.

III.

Angeblicher Lichtverluſt in dem Acte der totalen Reflexion.

Wenn ein Lichtſtrahl an der zweiten Fläche eines Glaſes anlangt, um auszutreten, ſo entfernt er ſich gemäß dem von Descartes entdeckten Brechungsgeſetze vom Einfallslothe. Nach dieſem Geſetze iſt der Sinus des Winkels des Strahles in der Luft gleich dem Sinus des Winkels im Glaſe multiplicirt mit einer Zahl, welche größer iſt als 1, nämlich mit dem ſogenannten Brechungsexponenten. Iſt der Winkel im Glaſe ſo beſchaffen, daß dies Product größer als 1 wird, ſo erhält man als Reſultat, daß der Sinus des Winkels, welchen der Strahl bei ſeinem Austritte mit dem Einfallslothe macht, größer als 1 werden müßte, was eine Unmöglichkeit iſt. Was geſchieht alſo unter dieſen Umſtänden mit dem austretenden Strahle? Um ſich dem erwähnten mathematiſchen Geſetze anzubequemen, tritt der Strahl nicht aus; er bleibt im Glaſe und erleidet die ſogenannte totale Reflexion.

Was geſchieht in dem Acte dieſer Reflexion? Geht der einfallende Strahl, nachdem er reflectirt worden iſt, ungeſchwächt in ſeiner Intenſität im Glaſe weiter, wie es die Bezeichnung totale Reflexion anzudeuten ſcheint, oder wird ein Theil deſſelben ausgelöſcht? Dies iſt die Hauptfrage, die wir unterſuchen wollen.

Dieſe Frage iſt von Bouguer behandelt und beantwortet worden. Unter allen in ſeinem Traité enthaltenen Reſultaten gäbe es, wenn ſie richtig wären, keine mehr der Beachtung werthern als diejenigen, die er für den Verluſt, für die Auslöſchung des Lichtes im Acte der Reflexion an der erſten und beſonders an der zweiten Fläche eines Glasſtückes erhalten hat.

„Wenn ein Lichtſtrahl, ſagt er, auf die zweite Fläche einer Glasplatte unter einer Incidenz von 10°, 20° oder 30° auffällt, ſo löſcht die Oberfläche ungefähr den dritten oder vierten Theil der Strahlen

aus, und reflectirt die übrigbleibenden zwei Drittel oder drei Viertel." (S. 146 des Traité.)

Der Verfasser wiederholt diesen Ausspruch S. 148 bei Gelegenheit der totalen Reflexion: „Die Brechung tritt nicht mehr ein, sondern verwandelt sich in eine Reflexion. Das Licht strahlt also nur nach innen zurück, und gleichzeitig wird ein Theil desselben ausgelöscht."

Dies Resultat ist unabhängig von dem Interesse, das es vom theoretischen Standpunkte aus darbietet, von höchster Wichtigkeit für die Construction astronomischer Instrumente. Wegen dieses doppelten Interesses habe ich es mir seit vielen Jahren angelegen sein lassen, das von Bouguer angegebene Resultat zu verificiren. Als ich aber beim nochmaligen Lesen seines Werkes die so bestimmten Ausdrücke sah, durch welche er den enormen Verlust von $^1/_8$ oder $^1/_4$ des einfallenden Lichtes bei der totalen Reflexion und bei den kleinern Winkeln ankündigt, so habe ich es für nothwendig erachtet, bevor ich öffentlich einem so geschickten Experimentator widerspräche, den streitigen Punkt neuen Prüfungen zu unterwerfen.

Um alle meine Zweifel zu heben, ist Herr Laugier auf folgende Weise verfahren:

Man richtete zuerst die Gesichtslinie nach der centralen Platte des Photometers dergestalt, daß das reflectirte Licht dem durchgelassenen gleich war. Wie wir schon oben mehrfach erwähnt haben, betrug für diesen Fall die Neigung der Gesichtslinie gegen die Platte 11° 8′. Dann ließ man auf die Platte, um durch dieselbe hindurchzugehen, einen Strahl fallen, welcher auf der Hypothenuse eines Glasprismas die totale Reflexion erlitten hatte. Andererseits mußte derjenige Strahl, welcher reflectirt werden sollte, vor seinem Auffallen auf die Platte durch einen Würfel derselben Glassorte gehen, dessen Dimensionen so berechnet waren, daß die durchlaufene Dicke genau dem Wege gleich war, den der Lichtstrahl, welcher total reflectirt wurde, in dem Prisma zurücklegte. Hierdurch mußten die Absorptionen, wenn solche überhaupt in merklicher Weise vorhanden waren, beiderseitig genau gleich werden. Würfel und Prisma waren übrigens so gestellt, daß die Strahlen die Ein- und Austrittsflächen unter gleichen Nei-

gungen trafen und infolge deſſen durch Reflexion dieſelben Schwächungen erlitten.

Bei dieſer neuen Anordnung des Verſuches erſchien das durchgelaſſene Bild dem reflectirten Bilde gleich, wenn der Winkel nicht mehr 11° 8′, ſondern 11° 9′ betrug. Nimmt man dieſe Differenz von 1′ als wirklich vorhanden an, ſo würde man für den durch die Reflexion veranlaßten Lichtverluſt ungefähr $^1/_{1000}$ des einfallenden Lichtes erhalten.

Früher mit einem anderen Prisma und einem anderen Würfel von den Herren Laugier und Petit ausgeführte Verſuche haben 11° 10′ für den Winkel gegeben, unter welchen das reflectirte Licht dem durchgelaſſenen gleich war; es würde aus ihm ebenfalls ein Lichtverluſt von weniger als $^2/_{1000}$ ſich ergeben.

Man ſieht, wie vollſtändig dieſe Reſultate mit Bouguer's Experimenten im Widerſpruch ſtehen.

Es iſt übrigens billig, hinzuzuſetzen, daß ſeit meinen erſten Verſuchen Beobachtungen von Potter erſchienen waren, die bereits ausdrücklich den Reſultaten des franzöſiſchen Akademikers widerſprachen.

IV.

Angeblicher Lichtverluſt im Acte der Zurückwerfung an der erſten und zweiten Fläche des Glaſes unter größeren Incidenzen als denjenigen, bei welchen die totale Reflexion eintritt.

Ich habe bereits über die Verſuche berichtet, durch welche ich mich überzeugt hatte, daß weder an der erſten noch an der zweiten Fläche der Glasplatte ein irgend merklicher Lichtverluſt eintritt. Ganz vor Kurzem bemerkte ich aber, als ich mir die Bouguer'ſche Optik wieder vorleſen ließ, folgende Stelle: „Unter größern Winkeln als denjenigen, bei welchen die ſtarke Reflexion eintritt, geht ein kleiner Theil von Strahlen verloren oder wird ausgelöſcht.“ (S. 145.) Dieſe Behauptung findet ſich in derſelben Faſſung S. 149 und in dem folgenden auf die Reflexionen unter großen Winkeln ſich beziehenden Abſchnitte wieder.

„Da ich vermuthete, ſagt er, daß die Oberfläche des durch-

sichtigen Körpers, welche einen Theil des Lichtes durch ihre innere Seite bei den kleinen Incidenzen auslöscht, auch bei den größten Incidenzen etwas von dieser Eigenschaft behalten haben würde, versuchte ich die Größe dieser Lichtauslöschung zu ermitteln. Nach diesen Versuchen würde die zweite Fläche des Glases $^1/_{16}$ eines Lichtbündels auslöschen, das unter einer zwischen 75° und 90° liegenden Incidenz eingetreten ist." (S. 156.)

Und weiterhin heißt es:

„Während ich $^1/_{36}$ für die durch die äußere Reflexion unter großen Winkeln veranlaßte Schwächung und $^1/_{28}$ für die innere Reflexion auf der Austrittsfläche annehmen würde, möchte ich einen ähnlichen Theil für die gleichzeitig erfolgende Auslöschung des Strahles annehmen." (S. 160.)

Die gerechte Achtung, welche man vor einer seitens eines Beobachters von Bouguer's Verdienst in so bestimmten Ausdrücken ausgesprochenen Ansicht haben muß, hat in mir den Wunsch hervorgerufen, seine Behauptung von Neuem entscheidenden Prüfungen zu unterwerfen.

Ich habe deshalb Herrn Laugier gebeten, unsere alten Versuche wieder vorzunehmen und dabei eine dünne sehr durchsichtige Glasplatte mit parallelen Flächen zu benutzen. Diese in die Bahn des durchgehenden Strahles gestellte Platte sandte gleichzeitig auf die centrale Platte das Licht des Schirmes, welches diese Platte reflectirte und dasjenige, welches sie durchließ, d. h. das gesammte Licht, weniger den Verlust, welchen es durch Reflexion und Brechung erleiden konnte.

Vor der Einschaltung der Platte betrug der Winkel, unter welchem das durchgelassene Licht dem reflectirten Lichte gleich war, stets 11° 8′. Als der Versuch nach Einschaltung jener Platte wiederholt wurde, fand man 11° 9′, was einem Lichtverluste geringer als $^1/_{1000}$ entsprechen würde.

Ich bin also auch hier zu dem Ausspruche berechtigt, daß Bouguer sich geirrt hat.

V.

Empfindlichkeit des Polariſkops.

Eine der erſten Anwendungen, die ich glaubte von dem Geſetze des Coſinusquadrats machen zu müſſen, beſtand darin, in Zahlen die Empfindlichkeit meines Polariſkops anzugeben. Wenn das Inſtrument vollſtändig polariſirtes Licht empfängt, ſo zeigen die Lunulä die lebhafteſten Farben. Iſt dies Licht aber neutral, ſo ſieht man keine Spur davon. Es erübrigte noch die Unterſuchung, welche Menge polariſirten Lichtes dem neutralen Lichte beigemengt werden muß, um eine wahrnehmbare Färbung zu erzeugen. In folgender Weiſe wurde dieſe Beſtimmung erhalten:

Während ein durch Reflexion polariſirtes Lichtbündel durch eine mit der Axe nahe parallel geſchnittene Bergkryſtallplatte hindurchging, drehte man dieſe Platte, bis das Polariſkop keine Färbung zeigte. Der Hauptſchnitt der Bergkryſtallplatte bildete dann einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene. Nachdem dies geſchehen, drehte man die Platte nach rechts und links von dieſer Lage zuerſt ſo weit, daß die Lunulä Spuren von Färbung zeigten, welche keinem Beobachter entgangen ſein würden und dann nur ſo weit, daß dieſe Färbungen für ein geübtes Auge deutlich waren.

In dem erſten Falle war die Platte von der äußerſten Stellung links zu der äußerſten Stellung rechts um einen Grad gedreht worden. Ein halber Grad wäre alſo der Winkel, um welchen man die Platte vom Azimute 45° aus drehen müßte, um eine ſehr merkbare Färbung hervorzurufen.

Die Menge des polariſirten Lichtes, das in einem durch eine Bergkryſtallplatte, welche mit der Reflexionsebene einen Winkel i bildet, gegangenen Lichtbündel enthalten iſt, beträgt, wie ich in meiner erſten Abhandlung *) gezeigt habe, cos 2 i. In dem gegenwärtigen Falle hat man dafür cos 2 (44° 30′) oder cos 89°, was $1/57$ entſpricht oder anders ausgedrückt: $1/57$ polariſirtes Licht in einem Bündel genügt, um die Lunulä des Polariſkops merklich zu färben.

*) Siehe S. 140.

Ich füge jetzt hinzu, daß dieſe Färbung ſchon wahrnehmbar war, wenn die ganze Drehung der Platte rechts und links vom Azimute 45° nur 48′ betrug; es genügen alſo 24′, damit die Lunulä eine erkennbare Färbung erhalten. Die Menge polariſirten Lichtes, welche in einem durch eine Bergkryſtallplatte, deren Hauptſchnitt mit der Reflexionsebene einen Winkel von 44° 36′ bildet, hindurchgegangenem Strahle enthalten iſt, wird durch cos 2 (44° 36′) oder cos 89° 12′ ausgedrückt, was $^1/_{71}$ entſpricht.

Man wird alſo wenig irren, wenn man die Menge polariſirten Lichtes, welche ein Lichtbündel enthalten muß, damit die Lunulä eine für ein geübtes Auge erkennbare Färbung annehmen, auf $^1/_{80}$ feſtſetzt.

Bei dieſen Experimenten haben die Herren Laugier, Petit und Ch. Mathieu das nämliche Reſultat erhalten; daſſelbe kann alſo als eine mittlere Abſchätzung der Empfindlichkeit des Auges betrachtet werden.

Vierte Abhandlung über Photometrie.

Physische Constitution der Sonne.

Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 29. April 1850. *)

Unter allen in dem weiten Gebiete der physischen Astronomie aufgestellten, aber noch nicht gelösten Problemen gibt es keine, welche die Menschen directer interessiren als die auf die physische Constitution der Sonne sich beziehenden. Die Lösung fast aller dieser Probleme hängt mehr oder weniger innig mit einer Prüfung der Hauptfrage zusammen, ob die Ränder und der Mittelpunkt der Sonne gleich leuchtend sind.

Diese Frage nach der relativen Lichtstärke der verschiedenen Punkte der Sonnenscheibe scheint ganz besonders die Aufmerksamkeit Galilei's

---

*) Nicht veröffentlichte Abhandlung, über welche die Comptes rendus der Akademie nachstehende Andeutungen enthalten:

„Arago hat sich in dieser Abhandlung bemüht zu zeigen, wie man die Intensitäten des Mittelpunktes und des Randes der Sonne bestimmen kann, indem man ein Rochon'sches Prismenfernrohr anwendet, vor dessen Objectiv ein Nicol'sches Prisma nebst einer ungefähr 5mm dicken, senkrecht auf die Kanten des sechsseitigen Prismas geschnittenen Bergkrystallplatte mit parallelen Flächen angebracht ist. Ein so vorgerichtetes Fernrohr liefert bekanntlich zwei lebhaft complementär gefärbte Sonnen. Er hat dann gezeigt, wie es möglich ist, mittelst experimenteller auf die Strahlung der Flammen sich beziehender Gesetze in sehr einfacher Weise von dem Vorhandensein der sogenannten Fackeln auf der Oberfläche der Sonne und des punktirten Aussehens, das genaue Beobachtungen über die ganze Ausdehnung dieses Gestirnes wahrzunehmen gestattet haben, Rechenschaft zu geben.

auf sich gezogen zu haben. Denn in einem Briefe an den Fürsten Cesi (Bd. 6, S. 198 der vortrefflichen von Alberi in Florenz veranstalteten Ausgabe der Werke des berühmten Astronomen) finde ich folgende Stelle, welche bestimmt zu sein scheint, einen Zweifel des Luca Valerio aus Neapel, eines Mitgliedes der Akademie der Lincei zu beseitigen.

„Das Bild der Sonne, wie es sich mit Hülfe eines Fernrohres auf einen Papierschirm projicirt, erscheint an allen Punkten gleich hell. Ich halte diese Beobachtung für unbestreitbar."

Huygens hielt die Sonne für flüssig, und leitete diese Folgerung aus der gleichen Lichtintensität an allen Punkten der Sonnenscheibe ab.

Wie es scheint, war Bouguer der erste, welcher die Frage auf experimentellem Wege erörtert hat. Nachdem er ausgesprochen, daß in einem stark vergrößernden Fernrohre das Bild der Sonne „wie eine ebene Oberfläche erscheint, deren Glanz so zu sagen überall der nämliche ist," fügt er hinzu, daß diese Erscheinung auf einer Täuschung beruhen könne, indem das Auge, um den Rand mit dem Mittelpunkte zu vergleichen, successive über Punkte hinwegschweift, deren Intensität sich stetig, also in unmerklichen Unterschieden ändert. Er erklärt hierauf, freilich auf sehr unvollkommene Weise, wie er diesem Uebelstande durch die Anwendung des Heliometers zu begegnen gesucht, eines Instrumentes, dessen Erfindung ihm zu verdanken ist.

Ich vermuthe, daß sich Bouguer zur Erreichung des angegebenen Zweckes des Kunstgriffes bedient hat, mittelst passend ausgeschnittener Blendungen, welche im Brennpunkte aufgestellt wurden, von den beiden Sonnenbildern zwei Stücke von gleicher Ausdehnung zu isoliren, so daß das eine Stück im Mittelpunkte des ersten heliometrischen Bildes, das andere am Rande des zweiten Bildes gelegen war. Auf diese Weise zeigte sich bei drei oder vier, an verschiedenen Tagen angestellten Vergleichungen, daß die dem Mittelpunkte des einen Bildes correspondirende Oeffnung heller war, als die Oeffnung, welche dem Rande des anderen Bildes entsprach. Indem er nun die Oeffnung desjenigen Objectivs, welches das Bild des Mittelpunktes erzeugte, so weit verkleinerte, bis dieses Bild ihm von gleicher Helligkeit mit den andern zu sein schien, gelangte er zu folgender Proportion: Die

Intenſität des Bildes am Mittelpunkte der Sonne verhält ſich zur Intenſität eines um drei Viertheile des Halbmeſſers vom Centrum entfernten Theiles, wie 48 zu 35. Der Verfaſſer räumt ein, daß er dieſe Beobachtung öfter hätte wiederholen ſollen; „aber," ſagte er, „ſo viel bleibt ſicher, die Helligkeit der Sonne iſt geringer an denjenigen Stellen der Scheibe, welche vom Mittelpunkte weiter entfernt ſind."

Lambert hat in ſeiner Photometrie eine der Meinung Bouguer's gerade entgegengeſetzte Anſicht ausgeſprochen. Zu Anfange des zweiten Kapitels (Art. 73) ſagt er ausdrücklich:

„Die Oberfläche der Sonne zeigt überall denſelben Glanz; dieſe Thatſache wird von Niemand beſtritten."

Airy und John Herſchel dagegen nehmen mit Bouguer an, daß die Sonne am Rande weniger leuchte als in der Mitte.

Folgendes ſind die Worte Sir John Herſchel's in der zweiten Ausgabe ſeines Treatise on astronomy (Art. 395, S. 234):

„Wenn man mit einem Fernrohre von ſo mäßiger Vergrößerung, um die ganze Sonnenſcheibe gleichzeitig im Geſichtsfelde zu haben, nach der Sonne blickt, und ſich eines geſchwärzten Glaſes bedient, durch welches die Scheibe recht bequem zu erkennen iſt, ſo zeigt ſich ganz offenbar, daß die Ränder der Sonnenſcheibe weit weniger leuchtend ſind, als der Mittelpunkt. Man überzeugt ſich leicht, daß dieſem Reſultate keine Täuſchung zu Grunde liegen kann, wenn man das Sonnenbild auf ein weißes Blatt Papier fallen läßt, welches recht genau im Brennpunkte aufgeſtellt iſt: es zeigt ſich alsdann dieſelbe Erſcheinung."

Bei photometriſchen Beobachtungen muß man ſich mit Sorgfalt vor Täuſchungen hüten; es iſt wichtig, in allen Fällen, wo es ſich thun läßt, Meſſungen an die Stelle bloßer Schätzungen zu ſetzen. Ich will nur ein Beiſpiel von ſolchen Irrthümern anführen, denen man ſich bei Anwendung eines anderen Verfahrens ausſetzt. Der ganze Himmel iſt mit gleichförmigen grauen Wolken überzogen, die Erde mit einer Schneeſchicht bedeckt: unter ſolchen Umſtänden wird Niemand anſtehen, zu erklären, daß der Schnee viel glänzender ſei als der Himmel. Erſetzt man nun aber dies flüchtige Urtheil durch eine Meſſung, ſo findet thatſächlich das Gegentheil ſtatt.

Sollte nicht in dem vorliegenden Falle das Photometer unmittelbar zur Vergleichung des Randes und Mittelpunktes des auf einem Papierschirme aufgefangenen Sonnenbildes dienen können? In der Theorie scheint die Sache leicht; aber in der Ausführung erzeugt die Kleinheit des Sonnenbildes, die große Nähe des Randes und Mittelpunktes in diesem Bilde bedeutende Schwierigkeiten. Es ist mir indeß gelungen, dieselben mittelst eines sehr einfachen Kunstgriffes zu umgehen, der mir schon früher hätte einfallen sollen. Er besteht darin, durch die zwei Hälften eines einzigen Objectivs, wie es das von Dollond*) abgeänderte Bouguer'sche Heliometer bildet, zwei Sonnenbilder beliebig weit von einander entfernt darzustellen. Ich kann dann aus dem Mittelpunkte des einen Bildes das Licht nehmen, welches von der centralen Platte des Photometers zurückgeworfen werden soll, und von dem Rande des anderen Bildes das Licht, welches nach dem Hindurchgehen durch dieselbe zu meinen Augen gelangen soll. Bis dieser Versuch wird ausgeführt werden können, will ich einstweilen die Resultate darlegen, zu welchen ich gelangt bin, indem ich bei dieser Verification von dem Gesetze des Cosinusquadrats Gebrauch machte.

Laplace in seiner Mécanique céleste hat Bouguer's Bestimmungen vollständig angenommen; dieselben geben für die relativen Intensitäten des Mittelpunktes und eines drei Viertel des Halbmessers von ihm abstehenden Punktes die Zahlen 48 und 35, woraus für die relativen Intensitäten des Mittelpunktes und des Randes wenigstens ein Verhältniß wie 48 zu 30 folgt. Von diesen Grundlagen ausgehend, hat Laplace die Auslöschung des Lichtes in der Sonnenatmosphäre berechnet. Wir werden keine Mühe haben zu zeigen, daß diese langen und schwierigen Rechnungen auf vollständig irrigen Versuchsdaten beruhen und daher auf neuen Grundlagen wieder vorgenommen werden müssen.

Man beobachte die Sonne durch ein Prismenfernrohr von Rochon**), vor welchem ein Parallelepipedum von isländischem Kalk-

*) S. Bd. XIV. S. 53 der Werke Arago's.

**) Siehe den zweiten Band der populären Astronomie, S. 58.

ſpath, welches uneigentlich mit dem Namen eines Nicol'ſchen Prisma bezeichnet wird, angebracht iſt; letzteres ſoll um ſich ſelbſt drehbar und mit einem getheilten Kreiſe verſehen ſein, um den Drehungswinkel zu meſſen. Bei einer gewiſſen Stellung des Prismas wird man nur ein Sonnenbild ſehen, während in anderen Stellungen zwei Bilder erſcheinen, wobei das Verhältniß der Intenſitäten von dem durch den Hauptſchnitt des Nicol'ſchen Prismas mit dem Hauptſchnitte des im Fernrohre befindlichen Bergkryſtallprismas gebildeten Winkel abhängt. Wir nehmen ferner an, daß die beiden Sonnenbilder dergeſtalt über einander greifen, daß der Rand des einen durch den Mittelpunkt des anderen hindurchgehe.

Geht man von der Stellung aus, in welcher nur ein Bild ſichtbar iſt und dreht das Nicol'ſche Prisma langſam bis zu dem Punkte, wo der Rand des entſtehenden Bildes auf dem Rande des anderen ſichtbar wird, ſo erhält man dadurch ein Mittel, um den Grad der Empfindlichkeit des Auges für dieſe beſondere Gattung von Verſuchen zu ſchätzen. Der Rand des ſchwachen Bildes beginnt auf dem Rande des ſtärkeren wahrnehmbar zu werden, wenn der Winkel zwiſchen den Hauptſchnitten des Nicol'ſchen und des inneren Prismas 9 Grad beträgt, d. h. alſo nach dem Geſetze des Coſinusquadrats, wenn das Verhältniß der beiden Intenſitäten ungefähr wie 1 zu 40 iſt.

Der Rand des entſtehenden Bildes müßte nun auch auf dem Mittelpunkte des anderen Bildes ſichtbar zu werden anfangen, wenn das Verhältniß der Intenſitäten $^1/_{40}$ beträgt. Der Schätzung Bouguer's und dem Geſetze des Coſinus zufolge würde dieſe Erſcheinung eintreten, ſobald die erwähnten Hauptſchnitte einen Winkel von $11^0\ 18'$ mit einander bilden, d. h. die Drehung müßte um $2^0\ 18'$ weiter fortgeſetzt werden, als bei dem erſten Erſcheinen von Rand auf Rand. Dieſes Reſultat ſteht in Widerſpruch mit der Beobachtung, denn der Rand wird auf dem Mittelpunkte bei einem Winkel von 9^0 ſichtbar, ebenſo wie Rand auf Rand. Folglich ſind die von Bouguer aufgeſtellten und von Laplace angenommenen Zahlen zu verwerfen.

Wenden wir uns zu einer anderen Hypotheſe und nehmen an, daß die Intenſitäten von Rand und Centrum ſich verhalten wie 35 zu 48, ſo müßte zwiſchen dem erſten Sichtbarwerden von Rand auf Rand,

und von Rand auf Mitte, in der gegenseitigen Neigung der beiden Hauptschnitte ein Winkelunterschied von 1° 29′ stattfinden.

Eine solche Differenz, wir wiederholen es, ist nicht vorhanden, und es sind demnach auch geringere Intensitätsunterschiede, als welche Bouguer angegeben und Laplace adoptirt hat, mit den Beobachtungen nicht vereinbar.

Ueberhaupt gelingt es nicht, bei einer äußerst langsamen und ganz allmälichen Drehung des Nicol'schen Prismas einen Winkel anzutreffen, bei welchem Rand auf Rand sichtbar würde, ohne daß gleichzeitig das beginnende Erscheinen des Randes auf der Mitte wahrzunehmen wäre.

Wir kommen jetzt zu einer andern Methode, um die Intensitäten am Rande und im Mittelpunkt der Sonne mit einander zu vergleichen.

Man schalte zwischen das Nicol'sche Prisma und das Objectiv des Prismenfernrohrs eine senkrecht gegen die Kanten des sechsseitigen Prismas geschnittene Bergkrystallplatte von etwa 5 Millimeter Dicke ein, gerade so wie sie bei der Construction meines Polariskops gebraucht wird. Mit dem so hergerichteten Instrumente sieht man in allen relativen Stellungen der beiden Prismen, die zwei Sonnenbilder in den lebhaftesten Complementärfarben glänzen; ist das eine z. B. roth, so erscheint das andere grün, und umgekehrt. Man erhält auf diese Weise wohlverstanden nicht die homogenen Farben, wie durch das Newton'sche Prisma, aber auf der anderen Seite hat man den Vortheil, daß die Bilder nicht verzerrt werden; ihre Umrisse bleiben ebenso scharf und bestimmt, als wenn die Bergkrystallplatte nicht eingeschaltet wäre.

Dies vorausgesetzt lassen wir das rothe Bild dergestalt auf das grüne Bild fallen, daß ein Rand des ersteren sich mit dem Centrum des zweiten deckt, und umgekehrt. Da nun der Natur der Sache nach die Farben complementär sind, so wird der gemeinschaftliche Theil der beiden Bilder weiß erscheinen, wenn alle Punkte der beiden Scheiben gleichmäßig hell sind. Wäre dagegen der Rand minder hell als die Mitte, so würde das Roth von der Mitte des rothen Bildes das Grün vom Rande der grünen Scheibe überwiegen, und ebenso das grüne Centrum des letzteren sich in Bezug auf den rothen Rand des rothen

Bildes verhalten. In dieſem Falle würde alſo die Fläche, in welcher ſich beide Scheiben decken, roth und grün an ihren Enden, und nur in der Mitte weiß erſcheinen.

Die Beobachtung ergibt, daß dem nicht ſo iſt, ſondern das den beiden kreisrunden Bildern gemeinſame Segment erſcheint allenthalben gleichförmig weiß.

Um zu unterſuchen, einen wie kleinen Intenſitätsunterſchied dieſe beſondere Beobachtungsmethode noch zu verrathen im Stande iſt, wollen wir zuerſt für einen Augenblick annehmen, die aus den Verſuchen Bouguer's gefolgerten Werthe ſeien richtig, und die Intenſität am Rande verhalte ſich zu der in der Mitte wie 30 zu 48. Dann wird das in 30 weißen Strahlen vom Rande der Sonne enthaltene Roth das aus 30 weißen Strahlen vom Centrum entſpringende Grün aufheben, wodurch weißes Licht von der Intenſität 30 entſteht; aber zu dieſen 30 Einheiten Weiß kommt noch das aus der Zerlegung von 18 weißen Strahlen hervorgehende Grün. Andererſeits werden ſich auf dem zweiten Rande der gemeinſamen Fläche die aus 30 weißen Randſtrahlen kommenden grünen Strahlen mit den rothen Strahlen vereinigen, welche 30 weißen Strahlen aus der Mitte entſprechen; aber es bleibt noch ein Ueberſchuß an rothen Strahlen, die durch die Zerlegung der 18 weißen Strahlen gewonnen werden, welche der Vorausſetzung zufolge den Ueberſchuß der Intenſität der Mitte über den Rand ausmachen.

Als wir uns mit der Beſtimmung der Empfindlichkeit des Auges für die Farben des Polariſkops beſchäftigten, fanden wir *), daß ein Achtzigſtel polariſirten Lichtes in einem weißen Strahlenbündel, mit anderen Worten, daß die aus der Zerlegung von $^1/_{80}$ Licht entſpringenden Farben an den Segmenten des Polariſkops wahrgenommen wurden. Daraus läßt ſich abnehmen, wie augenfällig, der Beobachtung ganz entgegen, die rothe und grüne Färbung hätte ſein müſſen, die aus der Zerlegung von 18 Strahlen auf 48 entſpringen ſollte. Auch hier zeigt ſich alſo, daß die Zahlenwerthe von Bouguer und Laplace in keiner Weiſe beſtehen können.

*) In der dritten Abhandlung über Photometrie, S. 186.

Die von mir angegebene Beobachtungsmethode würde, wenn wir für die Senſibilität des Auges die am Polariſkop erhaltenen Reſultate zu Grunde legen, einen Intenſitätsunterſchied um den vierzigſten Theil bei der Vergleichung zwiſchen Rand und Mitte herausſtellen. Denn ſei 40 die Helligkeit am Rande, 41 in der Mitte, ſo würde die Deckung von Rand und Mittelpunkt des rothen und des grünen Sonnenbildes weißes Licht von der Intenſität 40 erzeugen, und hierzu käme farbiges Licht durch die Zerlegung von 1 Strahl auf 40, alſo ein Vierzigſtel.

Ich muß erklären, weshalb wir uns in dieſer Rechnung des Bruches $^1/_{40}$ anſtatt $^1/_{80}$ bedient haben, wie die Eintheilung des Polariſkops gab. Als wir die Empfindlichkeit dieſes Inſtruments zu ſchätzen ſuchten, operirten wir mit einer Miſchung von 80 Theilen gewöhnlichen und 1 Theile polariſirten Lichtes. Das gewöhnliche Licht theilte ſich im Polariſkop in zwei gleich helle, weiße Bilder, die alſo jedes eine Intenſität von 40 Einheiten beſaßen. Hierzu kam das in Farben zerlegte polariſirte Licht, wovon das eine Bild die rothen, das andere die grünen Strahlen empfing. Dieſe rothen und grünen, aus 1 Theile entſpringenden Strahlen gaben alſo eine merkliche Färbung auf 40 Einheiten weißen Lichtes.

Zu dem Verſuche übergehend, bei welchem wir zwei farbige Bilder der Sonne im Fernrohre beobachteten, beträgt unter der Vorausſetzung der Intenſität 40 am Rande und 41 in der Mitte, das aus der Deckung der rothen Mitte und des grünen Randes erzeugte weiße Licht 40 Einheiten und ebenſo viel das Weiß an der Stelle der beiden Scheiben, wo ſich der Rand des rothen und das Centrum des grünen Bildes decken. Zu dieſem Weiß treten auf der einen Seite die rothen, auf der anderen Seite die grünen Strahlen, die aus der polariſkopiſchen Zerlegung des 1 Theiles weißen Lichtes, um welchen die Mitte den Rand übertrifft, entſtehen. Man ſieht alſo, daß man hier die Empfindlichkeit des Polariſkops auf die Hälfte reduciren muß, weil dieſe ſich auf den Umſtand gründet, daß die nicht polariſirten Strahlen des ganzen Strahlenbündels ſich auf zwei Bilder vertheilen.

Uebrigens erkenne ich an, daß vor der definitiven Annahme der hier angegebenen numeriſchen Reſultate, es erforderlich ſein wird, durch eine directe, an der Sonne ſelbſt angeſtellte Beobachtung den Grad der

Empfindlichkeit für polariſkopiſche Farben zu prüfen, da die Ausdehnung der unter anderen Umſtänden gemachten Beobachtungen auf dieſen beſonderen Fall, möglicherweiſe zu unrichtigen Werthen führen könnte.

Wir haben gefunden, daß das dem rothen und grünen Sonnenbilde gemeinſame Segment in ſeiner ganzen Ausdehnung weiß erſcheint, während nach den Verſuchen von Bouguer der an die rothe Scheibe anſtoßende Theil roth und die dem grünen Bilde zugewandte Seite grün erſcheinen müßte. Aber wäre es nicht möglich, daß dieſe ſchwache rothe und grüne Färbung der Fläche, in welcher die beiden Scheiben ſich decken, weiß erſchiene infolge der Wirkung der Nachbarſchaft der anſtoßenden Theile der Sonnenbilder, welche getrennt und ohne eine Schwächung ihrer Farben geſehen werden?

Ich habe dieſe Frage zu löſen geſucht, indem ich im Focus des Fernrohres ein metallenes Diaphragma anbringen ließ, das mit Ausnahme zweier Oeffnungen, welche reſpective dem auf die Mitte des rothen Bildes projicirten grünen Rande und dem mit dem Centrum der grünen Scheibe coincidirenden Rande des rothen Bildes entſprachen, die ganze Figur der beiden übereinandergreifenden Scheiben verdeckte. Bei dem auf dieſe Weiſe vervollkommneten Verſuche hat ſich, wie mir Herr Laugier verſichert, keine Spur einer Färbung gezeigt.

Wie bekannt, zeigt die Sonne an einigen Theilen ihrer Oberfläche Stellen von beträchtlich größerer Helligkeit als im Uebrigen, welche man Sonnenfackeln nennt.

Mir ſcheint, als ließe ſich dieſes Phänomen mit den für die Lichtausſtrahlung gasförmiger Subſtanzen geltenden photometriſchen Geſetzen in Zuſammenhang bringen.

Wie wir ſchon geſagt haben, ergibt ſich aus unzweifelhaften und ſehr leicht zu wiederholenden Experimenten, daß die Oberfläche einer glühenden gasförmigen Materie von gegebener Ausdehnung auf gleiche Weiſe leuchtet, unter welchem Winkel ſie auch den erleuchteten Gegenſtänden zugekehrt ſein mag.

Eine Folge dieſer Thatſache, worüber die Kaufleute ſich nicht wenig verwundern, iſt, daß die ſogenannten Schmetterlingsflammen die in den Schaufenſtern der Läden ausgeſtellten Waaren

eben so erleuchten, wenn das Licht von ihrer breiten Seite kommt, als wenn die schmale Seite den Waaren zugewendet ist. Diese gleiche Helligkeit kann offenbar nur unter der doppelten Annahme stattfinden, erstens, daß die vordere leuchtende Fläche der Flamme keine Absorption auf die Strahlen ausübt, welche von anderen Punkten der Flamme kommend dieselbe zu durchlaufen haben, und zweitens, daß die Lichtintensität des variabeln Flammenstückes, das einem bestimmten Sehwinkel entspricht, dem Cosinus der Neigung proportional sich ändert. Blickt man also z. B. durch eine einem Winkel von 1′ entsprechende Oeffnung, so wird dieselbe weit heller erscheinen, wenn die Oberfläche der Flamme schief, als wenn sie perpendiculär gegen die Gesichtslinie gerichtet ist. Dies hindert natürlich nicht, wie wir ausdrücklich wiederholen wollen, daß die in ihrer Gesammtheit betrachtete Flamme die Gegenstände unter jeder beliebigen Neigung in gleicher Weise erleuchtet.

Setzt man nun eine gasförmige Beschaffenheit des sichtbaren Theiles der Sonne voraus, so lassen sich die Sonnenfackeln ganz ungezwungen durch die verschiedene Neigung erklären, unter welcher die verschiedenen Theile der Sonnenoberfläche von uns gesehen werden. In der That haben wir uns eben überzeugt, daß die Oberfläche einer glühenden gasförmigen Substanz von gegebener Ausdehnung heller erscheint unter schiefer, als in senkrechter Richtung gesehen. Wenn folglich die Sonnenoberfläche Undulationen ähnlich wie unsere Atmosphäre darbietet, wenn sie sich mit gekräuselten Wolken bedeckt, so muß sie vergleichungsweise minder hell an denjenigen Stellen dieser Undulationen oder Wolken erscheinen, welche senkrecht gegen die Gesichtslinie des Beobachters liegen, und dagegen glänzender an den geneigten Stellen; jede conische Vertiefung z. B. muß uns wie eine kugelförmige Erhöhung erscheinen. Zur Erklärung der beobachteten Phänomene ist hiernach nicht mehr die Voraussetzung erforderlich, daß auf der Sonne Tausende von Stellen existiren, die an Gluth den Rest der Sonnenscheibe übertreffen, oder Tausende von Punkten, welche sich von den anstoßenden Regionen durch eine größere Anhäufung von Lichtmaterie unterscheiden.

Offenbar kann man auf dieselbe Weise sich eine genügende Vor-

ſtellung von der Urſache des punktirten oder marmorirten Ausſehens machen, welches alle Theile der Sonnenſcheibe bei genauerer Betrachtung zeigen.

Alle Erſcheinungen, welche die Beobachtung der Oberfläche der Sonne darbietet, finden ihre vollſtändige Erklärung: erſtens, wenn man annimmt, daß dieſer Himmelskörper aus einem dunkeln Kerne beſteht, den in einem gewiſſen Abſtande eine wenn auch nur in geringem Maaße undurchſichtige und das Licht zurückſtrahlende Atmoſphäre umgibt, unſerer Erdatmoſphäre vergleichbar, wenn dieſelbe eine continuirliche Schicht undurchſichtiger und reflectirender Wolken enthält; 2) wenn man über dieſe erſte Hülle oder Schicht eine zweite leuchtende Atmoſphäre, eine Photoſphäre ſetzt, deren Umriſſe mit der ſichtbaren Grenze des Geſtirnes zuſammenfallen; 3) wenn man als dritte Hülle eine durchſichtige Atmoſphäre hinzufügt, welche den Strahlenkranz (die ſogenannte Corona) und die von der Sonnenoberfläche abgetrennten Protuberanzen, die während der totalen Sonnenfinſterniſſe zu erſcheinen pflegen, erzeugt.

Die Möglichkeit der Exiſtenz einer ſolchen dritten atmoſphäriſchen Hülle iſt von einem Mitgliede der Akademie ziemlich geringſchätzig zurückgewieſen worden, aus Gründen, die mir kein Gewicht zu haben ſcheinen. Derſelbe Akademiker ſpricht von Kometen, welche ſich in der circumſolaren Region, wo die Protuberanzen während der Finſterniſſe auftreten, frei bewegt hätten.

Die Herren Laugier und Mauvais haben allerdings aus ihren Rechnungen das Reſultat abgeleitet, daß der Komet von 1843 die Sonnenoberfläche faſt berührt habe *), aber die beiden genannten Gelehrten waren zu gute Logiker, um aus den nach dieſem Vorübergange gemachten Beobachtungen einen Schluß auf die Modificationen ziehen zu wollen, welche der Einfluß einer Atmoſphäre vorher bei dem Kometen hätte hervorbringen können.

Solche Folgerungen würden nur dann gerechtfertigt ſein, wenn der Komet ſowohl vor als nach dem Vorübergange in der Nähe der

*) Siehe den zweiten Band der populären Aſtronomie, S. 289.

Sonne geſehen worden wäre, und es ſich herausgeſtellt hätte, daß die beiden Zweige ſeiner Bahn nicht einer und derſelben Curve angehörten.

Ich weiß nicht, wo der Aſtronom, auf deſſen gewagte Meinung ich mich hier beziehe, gefunden hat, daß man fünf bis ſechs Hüllen um den centralen Sonnenkern annehmen müßte, um die Erſcheinung der Protuberanzen zu erklären, mit der ich mich in der populären Aſtronomie*) und in meinem Aufſatze über die Finſterniſſe**) beſchäftigt habe. Die Vertheidiger dieſer Erklärungen haben drei Hüllen angenommen, weder mehr noch weniger.

Ferner muß ich hervorheben, daß, was auch derſelbe Akademiker dazu ſagen mag, die Vorſtellungen Herſchel's über die Sonnenflecken in keiner Weiſe als Grundlage für die auf die Exiſtenz einer dritten Atmoſphäre gebaute Theorie der Protuberanzen gedient haben. Wenn ein Autor Erklärungen, welche von ernſthaften Männern aufgeſtellt worden, zu bekämpfen unternimmt, ſo ſollte er, meine ich, ſich enthalten, im Voraus Irrthümer von ſeiner Erfindung hineinzumiſchen.

Wenn man das Abſorptionsvermögen der Sonnenatmoſphäre theoretiſch zu beſtimmen verſucht, ſo ſieht man ſich genöthigt, eine Hypotheſe über die Art der Strahlung, welche der glühenden Materie dieſes Himmelskörpers zukommt, zu machen. Iſt dieſe Materie feſt oder flüſſig, ſo muß ſie unter allen Neigungen gleich leuchtend erſcheinen, und ebenſo an allen Stellen zwiſchen Rand und Mitte, denn allerdings nimmt die Menge der Lichtſtrahlen, die von feſten oder flüſſigen Körpern ausgehen, mit zunehmender Schiefe ab, aber genau in demſelben Maaße vermehrt ſich die Anzahl der unter einem beſtimmten Winkel enthaltenen leuchtenden Punkte. Iſt dagegen die leuchtende Hülle der Sonne eine gasförmige Subſtanz, ſo bleibt die Menge der in allen Richtungen ausgeſandten Strahlen, wie oben auseinandergeſetzt worden, genau dieſelbe, und die Rechnungen über die Auslöſchung in der abſorbirenden Atmoſphäre müſſen auf dieſe Gleichheit in der Strahlung gebaut werden.

---

*) Siehe den dritten Band der populären Aſtronomie, S. 487.

**) Im ſiebenten Band der Werke, Band 4. der wiſſenſchaftlichen Aufſätze.

Es iſt folglich wichtig zu entdecken, ob der glühende, uns ſichtbare Theil der Sonne aus einer feſten oder flüſſigen, oder ob er aus einer gasförmigen Subſtanz beſteht. Dieſes Ziel habe ich durch eine Zuſammenſtellung von Beobachtungen und von Schlüſſen erreicht, worüber ich das Weſentliche jetzt mittheilen will.

Richtete ich das Polariſkop nach feſten oder flüſſigen glühenden Körpern auf unſerer Erde, in Richtungen, die mit ihren Oberflächen ſehr kleine Winkel bilden, ſo nahm ich ganz conſtant gefärbte Segmente wahr, und zwar lehrte die Aufeinanderfolge der Farben, daß in allen Fällen das Licht durch Brechung polariſirt war. Wenn man dagegen ein entzündetes Gas durch das Polariſkop unterſuchte, ſo zeigten die Segmente keine Spur einer Färbung, und das Licht war in dieſem Falle nicht polariſirt.

Die beobachtete Erſcheinung habe ich durch die Annahme erklärt, daß das Licht, welches von den glühenden Körpern zu uns gelangt, zum großen Theile in ihrem Innern ſeinen Urſprung hat, und daß dieſer Theil des Lichtes, beim Uebergange aus dem Mittel in die Luft, durch Brechung polariſirt wird. Es iſt alsdann begreiflich, weshalb Gasflammen nicht polariſirt ſind, weil das von ihnen ausgehende Licht nicht in merklicher Weiſe gebrochen wird. Aber wenn ſelbſt dieſe Erklärung unbegründet ſein ſollte, ſo würde darum die Anwendung, die ich von dem angeführten Verſuche auf die Beſtimmung der phyſiſchen Beſchaffenheit des Sonnenkörpers gemacht habe, nicht weniger gerechtfertigt ſein.

In der That beſteht meine experimentelle Methode im Weſentlichen in der Unterſuchung, ob bei der Beobachtung des äußerſten Sonnenrandes durch das Polariſkop merkliche Farbenerſcheinungen hervortreten. Bei keinem meiner Verſuche iſt es gelungen, Farben zu entdecken, während ich deren, wie im Vorhergehenden gezeigt worden, wahrnahm, ſo oft ich feſte oder flüſſige leuchtende Körper derſelben Unterſuchung unterwarf. Der ſichtbare Theil der Sonne beſteht folglich aus einer glühenden gasförmigen Materie.

Ich geſtehe, daß dieſer Verſuch in einem weſentlichen Punkte mangelhaft war; als ich ihn zuerſt anſtellte, hatte ich mich eines nur

ſchwach vergrößernden Fernrohres bedient, in welchem der Theil der Sonnenſcheibe, der wegen eines hinreichend ſchiefen Geſichtswinkels hätte farbig erſcheinen können, auf einen faſt unmerklichen Raum reducirt war. Aber in der Folge habe ich den Verſuch mit ſtärkerer Vergrößerung wiederholen laſſen, wobei der Theil der Sonnenoberfläche, welcher unter ſchieferen Winkeln als 3 und 4 Grad geſehen wird, breit genug erſchien, um Farben wahrnehmen zu laſſen. In der That entſprechen die Theile des Sonnenrandes, welche unter ſchieferen Winkeln als 3° und 4° geſehen werden, auf dem Durchmeſſer Angularwerthen von bezüglich 1,31″ und 2,36″.

Folgende Tafel enthält eine Zuſammenſtellung der Winkel, unter denen die Theile der Sonnenſcheibe in der Nähe des Randes ſich einem Beobachter auf der Erde zeigen:

Am Rande d. Sonne entſpricht			1°	einem	Geſichtswinkel v.	0,13″		
„	„	„	2	„	„	0,57	0,44″	Diff.
„	„	„	3	„	„	1,31	0,74	
„	„	„	4	„	„	2,36	1,05	
„	„	„	5	„	„	3,65	1,29	
„	„	„	6	„	„	5,29	1,64	
„	„	„	7	„	„	7,17	1,88	
„	„	„	8	„	„	9,38	2,21	
„	„	„	9	„	„	11,86	2,48	
„	„	„	10	„	„	14,65	2,79	

Das vergleichende Studium der photogeniſchen (chemiſchen) Eigenſchaften der vom Rande und von der Mitte der Sonne ausgehenden Lichtſtrahlen wird ebenfalls zur Löſung einiger der Probleme beitragen, mit denen ich mich in dieſer Abhandlung beſchäftigt habe. Gleich in den erſten Zeiten nach Veröffentlichung der glänzenden Entdeckung von Herrn Daguerre erkannte ich, als ich die Sonne auf einer verſilberten Platte ſich abbilden ließ, daß die von den centralen Theilen der Sonnenſcheibe kommenden Strahlen eine ſtärkere photogeniſche Wirkung beſitzen, als die vom Rande ausgehenden. Dieſes Experiment iſt ſpäter durch die Herren Fizeau und Foucault wiederholt worden, welche in den Jahren 1844 und 1845 eine große Zahl photogeniſcher

Sonnenbilder aufgenommen haben. Eines davon findet ſich in meiner populären Aſtronomie abgebildet. *)

Wenn man wenig intenſive photogeniſche Sonnenbilder betrachtet, d. h. ſolche, bei denen die Einwirkung des Lichtes nur eine ſehr kurze Zeit und wenig länger gedauert hat, als überhaupt für das Entſtehen des Bildes nothwendig iſt, ſo bemerkt man, daß die Mitte und die Ränder beträchtliche Unterſchiede in Bezug auf die Intenſität darbieten.

Bei den kräftigſten unter dieſen Bildern iſt der centrale Theil beſſer zu ſehen als der Reſt der Scheibe, die Ränder zeigen eine ſchwächere Färbung und von der Mitte nach den Rändern hin findet eine Abnahme ſtatt, die vorzüglich in der Nähe der Ränder wahrnehmbar iſt.

In den ſchwächeren Bildern ſind die Ränder der Scheibe gar nicht mehr ſichtbar, und das Bild erſcheint unter einem merklich verkleinerten Durchmeſſer. Diejenigen Bilder endlich, welche ausnehmend ſchwach ausgefallen ſind, zeigen nur den centralen Theil der Scheibe, und der ganze Durchmeſſer iſt auf drei Viertel reducirt.

Dieſe Reſultate ſind mit Bildern von zwei verſchiedenen Durchmeſſern, unter Anwendung achromatiſcher Linſen, erhalten worden. Der größere Durchmeſſer betrug 91,5 Millimeter, bei einem erzeugenden Objectiv von 9,88 Meter Brennweite; der kleinere Durchmeſſer war nur 12,8 Millimeter, und die Brennweite des Objectivs 1,38 Meter.

Die Bilder beſaßen hinreichende Schärfe, um die Sonnenflecken deutlich zu zeigen, ſelbſt Kern und Halbſchatten waren ziemlich gut ſichtbar; unter den Flecken hatten mehrere einen Durchmeſſer von kaum $^1/_{200}$ des Sonnenbildes. Es ſcheint alſo nicht möglich, die beſprochene Abnahme der Intenſität einem Mangel an Schärfe der Bilder zuzuſchreiben.

Die Herren Fizeau und Foucault haben unterſucht, ob in der

*) Band 2, S. 144.

Art, wie die chemiſche Action des Lichtes auf einer Fläche von der Ausdehnung der erhaltenen Bilder ausgeübt wird, nicht eine beſondere Eigenthümlichkeit zu finden ſei, woraus die Erſcheinung erklärt werden könnte.

Zu dieſem Zwecke wurde in beträchtlicher Entfernung eine Scheibe von weißer Pappe aufgeſtellt, hinter welcher ein ſchwarzer Stoff ausgeſpannt war, und mittelſt eines paſſenden Objectivs ſchritt man zur Aufnahme eines Bildes dieſer Scheibe von gleicher Dimenſion mit dem kleineren Sonnenbilde, d. h. von 12,8 Millimeter. Die Scheibe wurde durch das Licht der Atmoſphäre, und folglich in gleichförmiger Weiſe auf ihrer ganzen Oberfläche erleuchtet.

Die auf dieſe Weiſe auf empfindlichen Platten erhaltenen Lichtbilder zeigen keine Abnahme der Intenſität vom Mittelpunkte nach der Peripherie; vielmehr bemerkt man eine leichte Steigerung am Rande ſelbſt, gewiſſermaßen einen etwas markirteren Kreis, der das Bild begrenzt.

Ein zweiter Verſuch wurde noch in anderer Weiſe angeſtellt. Ein undurchſichtiger Schirm, mit einer runden Oeffnung von gleichem Durchmeſſer mit dem großen Sonnenbilde (d. h. von 91,5 Millimeter) verſehen, wurde über eine empfindliche Platte, ſehr nahe ihrer Oberfläche, gelegt. In dieſem Zuſtande wurde die Platte dem Lichte der Atmoſphäre nur ſo lange ausgeſetzt, um ein ſehr ſchwaches Bild zu erhalten. Das Ergebniß war das nämliche wie in vorhergehendem Falle, d. h. das Bild war von gleichförmiger Intenſität und durch eine etwas intenſivere Linie begrenzt.

Die bei den Sonnenbildern beobachtete Helligkeitsabnahme muß demnach ihren Grund in einem Unterſchiede der Eigenſchaften der von verſchiedenen Punkten der Sonne ausgehenden Strahlen haben. Die Intenſität der chemiſchen Action iſt am größten für die aus dem Mittelpunkte kommenden Strahlen, ſie iſt merklich ſchwächer für das von den Rändern ausgeſandte Licht, und nimmt für die dazwiſchen liegenden Punkte in continuirlicher Weiſe ab.

Bekanntlich erzeugen die Lichtbündel prismatiſche Spectra, welche in transverſaler Richtung Stetigkeitsunterbrechungen, unter der Form

ganz ſchwarzer Linien zeigen. Um die hier auseinandergeſetzte Unterſuchung zu vervollſtändigen, wird erforderlich ſein zu prüfen, ob die von den Rändern und von der Mitte der Sonnenſcheibe ausgeſandten Strahlen Spectra geben, bei denen die ſchwarzen Linien ſich genau entſprechen. Endlich wird eine Vergleichung ihrer erwärmenden Eigenſchaften ſtattfinden müſſen.

Fünfte Abhandlung über Photometrie.

Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 20. Mai 1850. *)

I.

Intensität des atmosphärischen Lichtes in der Nähe der Sonne.

Eine Bestimmung der Intensität des atmosphärischen Lichtes in der Nähe der Sonne ist, so viel mir bekannt, bisher nicht versucht worden; und doch hängt dieselbe mit sehr wichtigen astronomischen Fragen zusammen. Bevorzugte Beobachter behaupten, Mercur und Venus gleichzeitig mit der Sonne in dem Gesichtsfelde eines Fernrohrs gesehen zu haben. Nach einer flüchtigen Ueberlegung ist die Wahrheit solcher Beobachtungen angefochten worden; man wird aber nur dann erkennen, was in dieser Beziehung ausführbar ist, und was man mit einiger Aussicht auf Erfolg versuchen kann, wenn man mit

*) Nicht veröffentlichte Abhandlung, über welche die Comptes rendus der Akademie nachstehende Andeutungen enthalten:

„Ein Kapitel dieser Abhandlung ist der Bestimmung der relativen Intensitäten des Lichtes der Sonne und des von den nahe am Rande dieses Gestirnes gelegenen Theilen der Atmosphäre reflectirten Lichtes gewidmet. In einem andern Kapitel handelt der Verfasser von dem Einflusse, den eine mäßige Bewegung auf die Sichtbarkeit eines schwachen Lichtes, das sich auf einen stark erleuchteten Grund projicirt, ausübt. Er bekämpft die Einwände, welche der berühmte Bessel gegen diesen Versuch, so wie gegen seine Benutzung, um in gewissen Beziehungen die Sichtbarkeit der Sterne am hellen Tage zu erklären, erhoben hat."

einer gewiſſen Genauigkeit vergleichende Beobachtungen über die Lichtintenſität dieſer beiden Planeten und der Atmoſphäre, durch welche man ſie betrachten muß, angeſtellt hat.

Ich glaube daher, etwas Nützliches gethan zu haben, wenn ich mit einer gewiſſen Genauigkeit die Intenſität des atmoſphäriſchen Lichtes in der Nähe der Sonne zu beſtimmen verſucht habe, d. h. den Glanz, welchen die Atmoſphäre auf der Erde an einem gegebenen Orte verbreiten würde, wenn es möglich wäre, daſelbſt die directe Strahlung der Sonne zu beſeitigen. Durch eine unmittelbare Anwendung des Geſetzes des Coſinusquadrats bin ich zu dieſem Reſultate gelangt.

Wir nehmen ein kleines Rochon'ſches Prismenfernrohr, und ſtellen vor das Objectiv deſſelben ein ſogenanntes Nicol'ſches Prisma. Da das durch dieſes letztere Prisma hindurchgegangene Licht vollſtändig polariſirt iſt, ſo ſieht man in einer beſondern Lage ſeines Hauptſchnittes gegen den des doppeltbrechenden Prismas im Fernrohre nur ein Bild der Sonne. Entfernt man ſich aber durch eine allmäliche Drehung des Nicol'ſchen Prismas aus dieſer beſondern Lage, ſo beginnt das zweite Bild zu entſtehen und projicirt ſich bei angemeſſener Einſtellung des Fernrohrs auf den das Hauptſonnenbild unmittelbar umgebenden Theil der Atmoſphäre. Nach dem Geſetze des Coſinusquadrats läßt ſich dann für jede Winkeldrehung die Intenſität des zweiten Bildes berechnen.

Es ſei R die Intenſität des Sonnenlichtes, x die Intenſität des atmoſphäriſchen Lichtes in der Nähe des ſtrahlenden Geſtirns, i der Winkel zwiſchen den Hauptſchnitten des Nicol'ſchen und des im Fernrohre befindlichen Prismas für die Stellung, wo eben das auf die Atmoſphäre projicirte unregelmäßige Bild der Sonne verſchwindet. Nach dem Geſetze des Coſinusquadrats iſt $R \cos^2 i$ die Intenſität des regelmäßigen, und $R \sin^2 i$ die des unregelmäßigen Bildes. Durch einen zuvor angeſtellten Verſuch weiß man aber, daß wenn die zwei Bilder einer leuchtenden Scheibe ſo übereinander greifen, daß der Rand des einen ſich auf den Mittelpunkt des andern projicirt, das Azimut, welches ein Verſchwinden des auf das ſtarke Bild fallenden Theiles des ſchwachen Bildes herbeiführt, $9^o\ 20'$ beträgt, und daß folglich das

Verhältniß der Intenſitäten der beiden Bilder iſt

$$\frac{F \sin^2 9^0\,20'}{F \cos^2 9^0\,20'} = \operatorname{tg}^2 9^0\,20' = {}^1/_{37}.$$

Führt man nun den Verſuch mit dem Rochon'ſchen Fernrohre, vor welchem ein Nicol'ſches Prisma ſteht, in der Weiſe aus, daß das ſtarke oder regelmäßige Bild der Sonne außerhalb des Geſichtsfeldes zu liegen kommt, ſo läßt ſich das Azimut i finden, bei welchem das zweite durch $R \sin^2 i$ dargeſtellte Bild verſchwindet, wenn es ſich auf den die Sonne berührenden Theil der Atmoſphäre projicirt. Das Licht dieſer Stelle iſt dann aber nicht mehr gleich x, ſeiner urſprünglichen Intenſität, ſondern gleich $x \cos^2 i$; da wir nun andererſeits wiſſen, daß nach dem berichteten vorläufigen Verſuche die Intenſität eines Bildes, das auf einem hellen Grunde verſchwindet, ${}^1/_{37}$ der Intenſität dieſes Grundes beträgt, ſo haben wir alſo

$$R \sin^2 i = {}^1/_{37}\, x \cos^2 i,$$

folglich

$$\frac{x}{R} = 37 \operatorname{tg}^2 i.$$

Der Verſuch gibt für das Azimut, bei welchem das zweite Bild der Sonne auf dem Himmelsgrunde verſchwindet, $i = 0^0\,25'$; man hat alſo

$$\frac{x}{R} = 37 \operatorname{tg}^2 25' = {}^{37}/_{18910} = {}^1/_{511},$$

d. h. der Grund des Himmels in einer die Sonne tangirenden Richtung beſitzt einen Glanz, der ${}^1/_{511}$ oder in runder Zahl ${}^1/_{500}$ vom Sonnenglanz ſelbſt beträgt.

Dieſe Intenſität bleibt bis auf eine dem Durchmeſſer der Sonne gleiche Weite vom Rande derſelben ſehr nahe conſtant.

Die vorſtehenden Verſuche ſind mit einem ſchwarzen Glaſe, das die Sonne in einem ſehr ſchönen und ziemlich lebhaften Weiß zeigte, angeſtellt worden.

Um die Principien der Methode unabhängig von den kleinen ausgeführten Rechnungen darzulegen, können wir ſagen: Nach dem Geſetze des Coſinusquadrats weiß man, wie das zweite Bild entſteht und an Intenſität zunimmt; man weiß ferner, welches Verhältniß zwiſchen

den Intenſitäten dieſes zweiten Bildes und der Stelle des Himmels, auf die es ſich projicirt, vorhanden ſein muß, wenn es verſchwinden ſoll. Geſetzt, dies Verhältniß ſei $^1/_{37}$; dann wird man alſo das zweite nach dem Geſetze des Coſinusquadrats berechnete Bild gleich $^1/_{37}$ des atmoſphäriſchen Lichtes haben. Es iſt folglich dieſes atmoſphäriſche Licht 37 mal größer als die ſchon bekannte Intenſität des zweiten Bildes.

Streng genommen hätte man noch auf die Schwächung Rückſicht nehmen müſſen, welche das atmoſphäriſche Licht gleichzeitig mit dem Hauptbilde der Sonne erlitten hat; indeß iſt dieſe Correction ganz und gar zu vernachläſſigen.

Man würde daran denken können, dieſe Beobachtungen mit einem Heliometer zu wiederholen, und die Intenſität des Bildes, das ſich auf die Atmoſphäre projicirt, dadurch zu ſchwächen, daß man die Oberfläche der einen Hälfte des durchgeſchnittenen Objectivs verringerte. Die Kleinheit des übrigbleibenden Sectors wird aber vielleicht Beugungsphänomene erzeugen und dadurch die Reſultate compliciren.

II.

Eine mäßige Bewegung erleichtert die Sichtbarkeit der Gegenſtände.

Bouguer hat in ſeiner Optik beſtimmt, „welche Stärke ein Licht haben muß, um ein anderes ſchwächeres zum Verſchwinden zu bringen.“ Er erhielt die Löſung dieſer Aufgabe, indem er zwei gleich hellbrennende Kerzen in verſchiedenen Abſtänden vor einem Blatte Papier aufſtellte; ein dünner undurchſichtiger Stab warf zwei mehr oder weniger intenſiv graugefärbte Schatten darauf. Er entfernte dann die eine der Kerzen ſoweit, bis der von ihr gebildete Schatten vollſtändig verſchwand. Wir wollen uns hier nur mit den Punkten des Schirmes, welche dieſen Schatten umgeben, beſchäftigen: wir werden leicht darthun, daß in dem Augenblicke ſeines Verſchwindens das von der entfernteren Kerze auf das Papier geſandte Licht aufhörte merklich zu ſein, wenn es ſich zu dem auf eben dieſem Blatte von der näheren Kerze verbreitetem Lichte hinzufügte. Geſetzt nämlich es ſei a die Intenſität des von

dieſer letztern Kerze dem Papiere zugeſandten Lichtes, und es bedeute b daſſelbe für die zweite entferntere: ſo iſt a + b die Intenſität des Lichtes für alle Theile des Blattes in der Umgebung des der Kerze b entſprechenden Schattens mit Ausnahme der Punkte dieſes Kernſchattens ſelbſt. In dieſen letzteren iſt die Intenſität a, daneben a + b; nun ſollen der gemachten Annahme zufolge a und a + b nicht verſchieden erſcheinen; man hat alſo durch dieſen Verſuch beſtimmt, welches die Intenſität b ſein muß, wenn ihre Hinzufügung zu a keine merkliche Wirkung hervorbringen ſoll.

Bouguer hat gefunden, daß das Verhältniß der Abſtände der Kerzen von dem Papierſchirme beim Verſchwinden des der entfernteren Kerze entſprechenden Schattens 1 : 8 war, woraus ſich, wenn man die Quadrate dieſer Zahlen nimmt, das Verhältniß der Intenſitäten wie 1 : 64 ergibt. Eine Hinzufügung von $^1/_{64}$ des Lichtes war hiernach alſo nicht mehr merklich.

Der Verfaſſer bemerkt mit Recht, daß dieſer Zahlenwerth je nach der Bildung der Augen, dem Grade ihrer Ermüdung und der Empfindlichkeit der Netzhaut etwas variiren muß; es iſt aber auffallend, daß er nicht bemerkt hat, daß eine Bewegung des dunklen Körpers vor dem Papiere, alſo eine Verſchiebung der Stelle, wo der Intenſitätsunterſchied vorhanden iſt, dieſe Reſultate vollſtändig ändert.

Meine eigenen Verſuche haben mir beſtimmt gezeigt, daß wenn $^1/_{64}$ des Lichtes im Falle der Ruhe unmerklich iſt, ein viel geringerer Theil als der genannte noch wahrnehmbar wird, wenn der Intenſitätsunterſchied ſucceſſive auf verſchiedene Punkte des Papieres fällt.

Da gegen dieſes Reſultat durch Männer von hohem Verdienſte Zweifel erhoben worden ſind, ſo will ich die alltägliche Erfahrung anführen, die mir die Wahrheit deſſelben ſeit vielen Jahren gezeigt hat.

Ich machte mitten am Tage auf der ſüdlichen Terraſſe der Sternwarte einen Spaziergang, und nahm meinen Weg von Norden nach Süden. Der ganze Theil der Steinplatten ſüdlich von meinem Körper war alſo vollſtändig von dem directen Lichte der Sonne beſchienen; die Strahlen derſelben wurden aber auch von den Glasſcheiben der Fenſter in dem hinter mir befindlichen Gebäude reflectirt. Es entſtand dort folglich ein ſecundäres Bild, eine Art künſtlicher im Norden gele-

gener Sonne, deren Strahlen auf mich fielen und einen von Norden nach Süden gerichteten Schatten bilden mußten. Dieſer Schatten war natürlich ſehr ſchwach, da er durch das directe Sonnenlicht beſtrahlt wurde. Sein Vorhandenſein konnte daher nur durch die Vergleichung dieſes directen Lichtes mit dem daneben gelegenen aus eben dieſen directen und den von den Fenſterſcheiben zurückgeworfenen, ſehr geſchwächten Strahlen beſtehenden Lichte nachgewieſen werden. Blieb nun mein Körper unbeweglich, ſo ſah man keine Spur des Schattens; machte ich aber irgend eine Bewegung mit den Armen, oder eine raſche Bewegung mit dem Körper, welche eine merkliche Ortsveränderung des Schattens zur Folge hatte, ſo bemerkte ich ſogleich das Bild der Arme und des Körpers.

Man kann dieſen Verſuch nach Bouguer's Weiſe mit zwei Körpern anſtellen, indem man die von einem Körper entſtehenden zwei Schatten auf ein Blatt Papier fallen läßt, und wird dann über die Zunahme an Empfindlichkeit erſtaunen, welche die Bewegung des Schattens zu der hinzufügt, mit welcher das Auge von Natur begabt erſcheint.

Das folgende von mir ausgedachte Verfahren iſt den vorhergehenden Methoden vorzuziehen, weil es Meſſungen geſtattet, und folglich das Problem auf vollſtändige Weiſe zu löſen erlaubt. Man ſtellt ein Nicol'ſches Prisma vor das Objectiv eines Rochon'ſchen Prismenfernrohrs und blickt durch dieſes Inſtrument nach einer in ſchwarze Pappe geſchnittenen und ſich auf den bedeckten Himmel projicirenden Oeffnung. Man verſichert ſich ferner, daß die beiden Bilder der Oeffnung z. B. dergeſtalt übereinanderfallen, daß der Rand des zweiten Bildes durch den Mittelpunkt des erſten geht und ſucht den Winkel zwiſchen den beiden Hauptſchnitten des Nicol'ſchen und des im Innern des Fernrohrs befindlichen Prismas, welcher das vollſtändige Verſchwinden des zweiten Bildes auf dem erſten herbeiführt.

Nachdem dies geſchehen, ertheilt man dem Prisma im Fernrohre eine allmäliche und geradlinige, vom Oculare nach dem Objective hin gerichtete Bewegung, hält damit an, ſobald die beiden Bilder einander berühren und berechnet die Zeit, welche dieſe Bewegung gedauert hat. Auf dieſe Weiſe erhält man, da der Halbmeſſer des Bildes gegeben iſt,

die Geschwindigkeit der Verschiebung des Bildes für jeden Bruchtheil von Sekunden. Dies sind die von mir für den Versuch ausgedachten Einrichtungen; und ich theile die jetzt von den Herren Laugier, Goujon und Charles Mathieu erhaltenen, sehr nahe übereinstimmenden Resultate mit.

Eine erste Beobachtungsreihe lieferte folgende Werthe:

Im Zustande der Ruhe verschwand das zweite Bild auf dem ersten Hauptbilde, wenn seine Intensität $^1/_{39}$ des letzteren betrug; im Zustande der Bewegung dagegen trat das Verschwinden erst ein, als die Intensität des zweiten Bildes bis auf $^1/_{58}$ abgenommen hatte; oder anders ausgedrückt, das Azimut des Verschwindens betrug 9° 5′ beim Zustande der Ruhe, und 7° 30′ während der Bewegung.

In einer zweiten Versuchsreihe war die dem Verschwinden entsprechende Intensität $^1/_{51}$; sie sank auf $^1/_{87}$ bei der Bewegung. Die Azimute des Verschwindens waren 8° 0′ für die Ruhe, und 6° 7′ für die Bewegung.

In einer dritten Reihe endlich entsprach das Verschwinden für den Zustand der Reihe $^1/_{71}$; wenn dagegen das schwache Bild sich auf dem andern bewegte, trat das Verschwinden erst ein, wenn die Intensität dieses schwachen Bildes $^1/_{131}$ betrug. Das Azimut des Verschwindens war für die Ruhe 6° 45′, und wurde für die Bewegung 5° 0′.

Infolge der ertheilten Bewegung durchlief das im Innern des Fernrohrs befindliche Prisma zwei Drittel der Länge desselben in 1 bis 2 Zeitsecunden. Die Verschiebung des schwachen Bildes auf dem starken in dieser Zeit betrug 19′ im Bogen, während die ganze Scheibe einen Winkel von 27′ umspannte. Bei den Verschiebungen des zweiten Bildes auf dem ersten war also (?) die Geschwindigkeit 12′ in der Sekunde.

Ich will hier nicht versuchen zu erklären, warum die Empfindlichkeit des Auges bei dem Zustande der Ruhe in den obigen drei Versuchsreihen so verschieden gewesen ist: dies ist ein physiologisches Phänomen, worauf man wird zurückkommen müssen.

Als eine zur Beurtheilung der Dunkelheit des Gesichtsfeldes sich eignende Notiz füge ich hinzu, daß das schwache Bild, wenn es außer-

halb des ſtarken lag, erſt verſchwand, wenn ſeine Intenſität $^1/_{2100}$ betrug.

Beſſel gab das Reſultat, das aus allen dieſen Verſuchen auf beſtimmte Weiſe hervorgeht, nicht zu; er läugnete beſonders die Rolle, welche ich ihm in Betreff der Sichtbarkeit der Sterne mittelſt ſtark vergrößernder Fernröhre bei hellem Tage zugeſchrieben hatte. Er wandte ein, daß die Bilder dieſer Sterne in einem durch ein Uhrwerk parallaktiſch bewegten Fernrohre, wo alſo dieſe Bilder im Geſichtsfelde feſtſtehen, vollkommen geſehen würden.

Ich erwidere, daß die Bewegung des Bildes eines Sternes nicht die einzige Urſache ſeiner Sichtbarkeit iſt; daß das Ocular, indem es das Geſichtsfeld verdunkelt, ohne die Helligkeit des Geſtirnes zu ändern, immer mehr und mehr das Vorwalten des Bildes über das atmoſphäriſche Licht des Geſichtsfeldes erhöht; und daß endlich ein complicirtes Factum einem einfachen klaren und außerdem ſo leicht zu verificirenden Verſuche nicht entgegengeſtellt werden kann.

Sechste Abhandlung über Photometrie. *)

I.

Physische Constitution und Photometrie der Fixsterne.

Man hat in meiner vierten Abhandlung über die Photometrie **) gesehen, daß es mir mittelst des Polariskops gelungen ist, die Natur der Substanz zu bestimmen, woraus die Photosphäre der Sonne besteht, nämlich zu beweisen, daß dieser Stoff gasförmig ist. Das Beobachtungsverfahren, das ich auf die Sonne angewandt habe, indem ich Fernröhre mit starker Vergrößerung benutzte, welche hinreichend große unter sehr schiefen Winkeln gesehene Stücke der Sonnenscheibe zu beobachten gestatteten, hat mich in den Stand gesetzt, folgende unangreifbar scheinende Frage zu lösen: Ist die physische Constitution der Fixsterne, d. h. der Himmelskörper, welche keinen merklichen scheinbaren Durchmesser besitzen, der physischen Constitution unserer Sonne analog?

Wenn es möglich gewesen ist, die obige Aufgabe, so lange es sich um die Sonne handelte, experimentell zu lösen, so liegt der Grund davon in der Größe ihres scheinbaren Durchmessers, welcher mit den von jedem Punkte des Randes ausgesandten Strahlen gesondert zu operiren gestattete. Vereinigen wir dagegen in Gedanken die von dem ganzen Umfange des Gestirns ausgehenden Strahlen in ein einziges Bündel, so werden diese Strahlen, selbst wenn sie, wie z. B. bei

*) Nicht veröffentlichte Abhandlung.

**) S. 187 — 203.

ihrem Austritte aus einem festen oder flüssigen Körper, polarisirt wären, doch durch gegenseitige Compensation ein neutrales Bündel geben; es werden die vom östlichen Rande des horizontalen Durchmessers des Gestirns stammenden Strahlen durch die von dem nördlichen Ende des verticalen Durchmessers, und die von dem westlichen Ende des horizontalen Durchmessers kommenden Strahlen durch die von dem südlichen Ende des verticalen Durchmessers ausgehenden Strahlen neutralisirt werden. Ein Gleiches gilt für alle andern in ihrer Lage um 90° verschiedenen Punkte der Scheibe.

Diese Vorstellung findet sich in den Fixsternen mit unmerklichen Durchmessern realisirt. Ihr Licht in seiner Gesammtheit genommen, muß neutral erscheinen, wenngleich die einzelnen Strahlen polarisirt sein können.

Anders verhält es sich aber, wenn es sich um veränderliche Sterne handelt.

Betrachten wir einen dieser Sterne, welche, nachdem sie mit einem gewissen Lichte geglänzt haben, fast vollständig verschwinden. Diese Helligkeitsänderung kann nur auf drei Arten erklärt werden: entweder ist ein beträchtlicher Theil der Scheibe des Sternes dunkel; oder ein undurchsichtiger Körper stellt sich zwischen uns und das Gestirn; oder endlich drittens, der außerordentlich stark abgeplattete Stern hat, wie Maupertuis sich ausdrückte, die Form eines Mühlsteins.

In diesem dritten Falle würden in der Zeit, wo der Stern uns seine schmale Seite zuwendet, die ausgesandten Strahlen mit der Oberfläche sehr kleine Winkel machen, und die Phänomene der Polarisation sehr auffällig werden, wenn diese Oberfläche fest oder flüssig wäre. Falls dagegen die Oberfläche aus gasförmigen Substanzen bestände, würde keine Polarisation eintreten; dann darf man aber andererseits behaupten, daß unter dieser Voraussetzung die Helligkeit des Sternes dieselbe bleiben müßte, möge er uns seine schmale oder seine breite Seite zuwenden.

Wenn nach der zweiten Voraussetzung der dunkle Körper durch seine Zwischenstellung uns z. B. den westlichen Theil der Scheibe verdeckt, die Enden des verticalen Durchmessers aber sichtbar läßt, so

wird die Polarisation des von diesen Endpunkten ausgehenden Lichtes durch die rechtwinklige Polarisation des von dem östlichen Ende des Durchmessers kommenden Lichtes streng genommen nicht compensirt werden. Wenn in dieser Beziehung unser Auge die kleinsten Differenzen zu erkennen vermöchte, so würde man in dem gesammten Lichte Spuren von Polarisation wahrnehmen müssen. Diese Spuren würden besonders hervortreten, wenn der sichtbare Theil des Sternes auf ein sehr kleines im Westen und Osten seines Umfanges gelegenes Stück reducirt wäre.

Dieselbe Schlußfolgerung findet Wort für Wort auf den Fall Anwendung, wo die Aenderung in der Helligkeit des Sternes von der Dunkelheit eines beträchtlichen Stückes seiner Oberfläche herrührt.

Aus diesem Gesichtspunkte verdient die Beobachtung des Lichtes der veränderlichen Sterne zur Zeit ihres Verschwindens und ihres Wiedererscheinens gar sehr die Aufmerksamkeit der Astronomen, und man sieht, wie ein einfaches Experiment in strenger Weise mit einem der erhabensten Probleme der Naturwissenschaft verknüpft ist und dessen Lösung ermöglicht.

Die aufmerksame Beobachtung mehrerer veränderlicher Sterne durch das Polariskop in allen Theilen ihrer Phasen hat gezeigt, daß ihr Licht stets vollkommen weiß bleibt. Man kann also behaupten, daß dies Licht aus einer unsern Wolken oder brennenden Gasen analogen Substanz ausströmt.

Dieselbe Methode führt zum Ziel, selbst wenn man sie auf solche Sterne anwendet, die nur eine partielle Veränderung in ihrem Glanze zeigen.

Man sieht, daß aus diesen Untersuchungen, welche fortgesetzt werden müssen, sich die vollständige Bestätigung für die Hypothese der Identität unserer Sonne mit den unzähligen das Firmament schmückenden Sternen ergibt. Welches ist aber das Intensitätsverhältniß, welches das Licht aller dieser Sterne darbietet? In meiner populären Astronomie *) habe ich die verschiedenen Versuche berichtet, welche vor mir von W. Herschel, Köhler, Steinheil und Seidel zur Bestimmung

*) Arago's Werke, Bd. XI. S. 308 ff.

der relativen Intensitäten der verschiedenen Sterngrößen angestellt worden sind, aber auch gezeigt, welche Einwände man gegen die verschiedenen, zur Lösung des Problems vorgeschlagenen oder angewandten Verfahren erheben könnte.

Ehe das Gesetz des Cosinusquadrats experimentell bewiesen war, hatte ich einen Apparat construiren lassen, in welchem ich die Intensität des polarisirten Bildes eines Sternes allmälich in solcher Weise verminderte, daß die Schwächung genau berechnet werden konnte. Dieser Apparat war kein anderer, als der, welchen ich breits beschrieben habe, bestehend aus einem Rochon'schen Fernrohre mit einem vor dem Objective befindlichen drehbaren Nicol'schen Prisma. *)

Seitdem das Gesetz des Cosinusquadrats experimentell bewiesen ist, war mein Gesicht sehr schwach geworden, so daß ich Herrn Laugier bitten mußte, meinen Apparat einer entscheidenden Prüfung zu unterwerfen. Ich werde sogleich die von ihm gewonnenen Resultate darlegen. Die Winkel, welche die folgende Tabelle enthält, sind die Azimute, bei denen das zweite Bild jedes Sterns sichtbar zu werden beginnt, die Lage der ursprünglichen Polarisationsebene des Sterns als Ausgangspunkt genommen.

Bezeichnen wir mit a die Intensität des Lichtes des Sternes, durch i den Winkel der ursprünglichen Polarisationsebene mit dem Hauptschnitte des Prismas, bei welchem das zweite Bild entsteht, so ist $a \sin^2 i$ die Intensität dieses zweiten Bildes. Es sei b die Intensität des Lichtes eines zweiten Sternes, i' der Winkel der ursprünglichen Polarisationsebene mit dem Hauptschnitte des Prismas beim Entstehen des zweiten Bildes, so wird die Intensität des letztern dargestellt durch $b \sin^2 i'$. Der Annahme nach ist nun $a \sin^2 i = b \sin^2 i'$; folglich hat man:

$$\frac{b}{a} = \frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}.$$

Wenn man es wünscht, so wird man im Voraus eine vergleichende Intensitätsscale entwerfen können, indem man für den glänzendsten Stern das Azimut des Verschwindens i bestimmt und dann

*) S. oben S. 191.

mit demselben Fernrohre den Versuch wiederholt, nachdem man vor sein Objectiv ein Glas mit parallelen Flächen gestellt hat, welches das Bild im Brennpunkte auf $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ u. s. w. der ursprünglichen Lichtintensität reducirt.

Als man suchte, unter welchem Azimute das zweite Bild jedes Sternes, auf den Himmelsgrund projicirt, sichtbar zu werden anfing, erhielt man folgende Azimute:

Namen der Sterne.	Angenommene Größe der Sterne.	Azimute des Erscheinens.	Sinusquadrate dieser Azimute.	Relative Intensitäten oder $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius oder α im großen Hunde	1	0° 48′	$^1/_{5129}$	1000
Wega oder α in der Leyer . .	1	0 58	$^1/_{3512}$	684
Procyon oder α im kleinen Hunde	1—2	1 10	$^1/_{2411}$	470
Rigel oder β im Orion . . .	1	1 12	$^1/_{2279}$	444
Betelgeuze oder α im Orion	var.	1 12	$^1/_{2279}$	444
Atair oder α im Adler . .	1—2	1 16	$^1/_{2045}$	400
Aldebaran oder α im Stier .	1	1 37	$^1/_{1255}$	245
Bellatrix oder γ im Orion .	2	2 0	$^1/_{820}$	160
ε im Orion	2	3 9	$^1/_{330}$	65
ε im großen Hunde . . .	2—3	3 12	$^1/_{320}$	63
γ im Adler	3	3 27	$^1/_{275}$	54
γ im Schwan	3	3 58	$^1/_{208}$	41
π im Orion	5	4 53	$^1/_{137}$	27
ζ im Schwan	3	5 2	$^1/_{129}$	25
β im Adler	4	5 39	$^1/_{102}$	14
σ im Orion	4	8 52	$^1/_{41}$	8
λ im Orion	4	16 30	$^1/_{11}$	2

Dieselben Versuche wurden wiederholt, indem man vor das Fernrohr kreisförmige Diaphragmen von verschiedenem Durchmesser setzte, welche die Menge des von jedem Sterne aufgenommenen Lichtes mehr oder weniger verminderten.

Mit einem Diaphragma von 49^{mm} Durchmesser erhielt man die folgenden Resultate:

Namen der Sterne.	Angenommene Größe der Sterne.	Azimute des Erscheinens.	Sinusquadrate dieser Azimute.	Relative Intensitäten oder $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius	1	1° 4′	$^1/_{2884}$	1000
Rigel	1	2 37	$^1/_{479}$	162
Bellatrix	2	2 45	$^1/_{433}$	150
Wega	1	2 55	$^1/_{385}$	133
Atair	1—2	3 12	$^1/_{320}$	111
Spica oder α in der Jungfrau	1	5 30	$^1/_{108}$	37
γ im Adler	3	7 12	$^1/_{63}$	22
π im Orion	5	7 19	$^1/_{61}$	21
γ im Schwan	3	7 25	$^1/_{59}$	20
ζ im Schwan	3	8 48	$^1/_{42}$	14
β im Adler	4	11 37	$^1/_{24}$	8

Man ersetzte dieses Diaphragma durch ein anderes von 39,5^{mm}, und machte damit einige Beobachtungen, deren Resultate waren:

Namen der Sterne.	Angenommene Größe der Sterne.	Azimute des Erscheinens.	Sinusquadrate dieser Azimute.	Relative Intensitäten oder $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius	1	2° 12′	$^1/_{678}$	1000
Rigel	1	3 50	$^1/_{223}$	329
Bellatrix . . .	2	5 3	$^1/_{128}$	188

Als das Diaphragma bis auf 29,5^{mm} reducirt war, lieferten die Beobachtungen folgende Zahlen:

Namen der Sterne.	Angenommene Größe der Sterne.	Azimute des Erscheinens.	Sinusquadrate dieser Azimute.	Relative Intensitäten oder $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius	1	2° 59′	$^1/_{368}$	1000
Arcturus oder α im Bootes	1	2 59	$^1/_{368}$	1000
Atair	1—2	4 12	$^1/_{185}$	503

Namen der Sterne.	Angenommene Größe der Sterne.	Azimute des Erscheinens.	Sinusquadrate dieser Azimute.	Relative Intensitäten oder $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Rigel	1	4° 25′	$^1/_{168}$	457
Procyon . . .	1—2	4 36	$^1/_{154}$	418
Betelgeuze	var.	4 51	$^1/_{139}$	378
ε im großen Hunde	2—3	5 31	$^1/_{107}$	290
Bellatrix	2	6 7	$^1/_{87}$	237
Wega	1	6 29	$^1/_{77}$	209
Aldebaran	1	6 45	$^1/_{71}$	193
Spica	1	8 16	$^1/_{47}$	128
ε im Orion	2	8 57	$^1/_{40}$	109
γ im Adler	3	9 10	$^1/_{38}$	103
γ im Schwan . . .	3	11 12	$^1/_{25}$	67
π im Orion	5	11 45	$^1/_{23}$	63
σ im Orion . . .	4	12 57	$^1/_{19}$	51
ζ im Schwan . . .	3	15 33	$^1/_{13}$	36
λ im Orion . . .	4	22 0	$^1/_{6}$	17

Nachdem das Diaphragma bis auf 19^{mm} verkleinert war, haben einige Beobachtungen ergeben:

Namen der Sterne.	Angenommene Größe der Sterne.	Azimute des Erscheinens.	Sinusquadrate dieser Azimute.	Relative Intensitäten oder $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius	1	4° 51′	$^1/_{139}$	1000
Rigel	1	6 13	$^1/_{84}$	604
Bellatrix	2	9 26	$^1/_{36}$	259
π im Orion . . .	5	13 9	$^1/_{18}$	129

Es ist leicht einzusehen, daß man die relativen Intensitäten der Sterne auch erhalten kann, indem man den Winkel sucht, unter welchem das Licht eines gewissen Sternes, des Sirius z. B., durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen hindurchgehen muß, damit seine

Helligkeit so weit vermindert wird, daß sie der eines anderen direct gesehenen Sternes gleich wird. Bedient man sich der in meiner zweiten Abhandlung über Photometrie (S. 167) gegebenen Tafel, so hat man unmittelbar das Verhältniß, dessen Bestimmung man beabsichtigt. Diese Methode hat die folgenden Resultate geliefert:

Namen der Sterne.	Relative Intensitäten.
Sirius	1000
Wega	550
Rigel	417
Spica	310
Bellatrix	200
π im Orion	70

Die folgende Tafel faßt alle Beobachtungen zusammen:

Namen der Sterne.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	Mittel.
Sirius	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Arcturus	—	—	—	1000	—	—	1000
Procyon	470	—	—	418	—	—	444
Betelgeuze	444	—	—	378	—	—	411
Rigel	444	162	329	457	604	417	402
Wega	684	133	—	209	—	550	394
Atair	400	111	—	503	—	—	338
Aldebaran	245	—	—	193	—	—	219
Bellatrix	160	150	188	237	259	200	199
ε im großen Hunde	63	—	—	290	—	—	179
Spica in der Jungfrau	—	37	—	128	—	310	158
ε im Orion	65	—	—	109	—	—	87
π im Orion	27	21	—	63	129	70	62
γ im Adler	54	22	—	103	—	—	59
γ im Schwan	41	20	—	67	—	—	43
σ im Orion	8	—	—	51	—	—	29
ζ im Schwan	25	14	—	36	—	—	25
β im Adler	14	8	—	—	—	—	11
λ im Orion	2	—	—	17	—	—	9

Die Differenzen, welche die Resultate der verschiedenen Beobachtungen zeigen, können auf zwei Weisen erklärt werden:

Es kann erstens der Himmel etwas wolkig sein, so daß das Sternbild, für welches das Azimut des Verschwindens bestimmt werden soll, sich auf einen Grund projicirt, der nicht überall vollständig dunkel ist; die Winkel, unter welchen man in diesem Falle das Prisma drehen muß, um die Bilder gewisser Sterne sichtbar zu machen, werden dadurch zu groß, woraus dann zu kleine relative Helligkeiten ihres Lichtes folgen.

Oder zweitens, es gibt eine viel größere Zahl veränderlicher Sterne, als die unmittelbare nicht durch photometrische Messungen unterstützte Beobachtung zu erkennen vermag.

Derartige Versuche, wie ich sie eben beschrieben habe, müssen also vielfach wiederholt werden; sie werden sicherlich zu wichtigen Folgerungen führen. Ich nehme kein anderes Verdienst in Anspruch, als das, der Astronomie ein genaues und bequemes Meßinstrument in die Hand gegeben zu haben.

II.

Experimentelle Graduirung des Polarimeters.

In meiner ersten Abhandlung über die Photometrie habe ich die Anwendung angegeben, die ich von dem Polarimeter zur Nachweisung der Richtigkeit des Gesetzes des Cosinusquadrats machen konnte. Da beim Beginn meiner Untersuchungen das Polarimeter nicht graduirt war, mußte ich ein Mittel suchen, um dasselbe mit Umgehung der Graduirung benutzen zu können. *)

Ich will jetzt das Verfahren angeben, das ich seitdem zur experimentellen Graduirung dieses Instrumentes benutzt habe.

Man weiß, daß mein Polarimeter einfach ein Polariskop ist, vor welchem sich eine Säule von Glasplatten befindet, die in Bezug auf die einfallenden Strahlen alle möglichen Neigungen annehmen kann.

*) S. oben S. 143.

Ein passend angebrachter Gradbogen läßt mit Leichtigkeit die Größe der Neigung bei jeder Beobachtung erkennen. Es handelt sich darum zu erläutern, welchen Nutzen man aus der Bestimmung dieser Winkel ziehen kann.

Wenn ein partiell polarisirter, d. h. ein aus neutralem und aus vollständig polarisirtem Lichte zusammengesetzter Strahl in passender Richtung durch eine Säule von Glasplatten unter einem hinreichend kleinen Winkel hindurchgeht, so wird er in neutrales Licht verwandelt. Das Polariskop, welches dies austretende Lichtbündel empfängt, muß dann folglich Bilder ohne irgend eine Färbung geben. Ich habe vor vielen Jahren *) mehrere Versuche mit solchen Glassäulen angestellt, um die Winkel zu bestimmen, welche einerseits kleiner und andererseits größer sind, als der Winkel der vollständigen Polarisation bei der Reflexion, und die Eigenschaft besitzen, daß die unter ihnen reflectirten Bündel gleiche Verhältnisse polarisirten Lichtes enthalten. Diese Verhältnisse wurden damals nicht bestimmt; es genügte, ihre Gleichheit darzuthun, und folglich die Lichtbündel, indem man sie unter denselben Winkeln auf die Glassäule fallen ließ, genau zu depolarisiren. Jetzt handelt es sich darum, diese Lücke auszufüllen, und die Verhältnisse selbst zu finden.

Wenn man einen vollständig polarisirten Lichtstrahl durch eine parallel mit der Axe geschnittene Bergkrystallplatte gehen läßt, so kann man ihn in einen neuen partiell polarisirten Strahl verwandeln **), in welchem man, nach dem jetzt experimentell bewiesenen Gesetze des Cosinusquadrats die Menge des neutralen und ebenso die Menge des darin enthaltenen polarisirten Lichtes kennt. So gibt es bei einer gewissen Lage der Platte in dem durch sie hindurchgegangenen Strahle $^2/_{10}$ neutrales und $^8/_{10}$ polarisirtes Licht; in einer anderen Lage beträgt die Menge des neutralen Lichtes $^3/_{10}$ und die des polarisirten $^7/_{10}$; eine dritte Lage gibt respective $^4/_{10}$ und $^6/_{10}$ u. s. f.

Das mathematische Gesetz, welches die Menge des polarisirten

*) Siehe den Aufsatz über Polarisation in Bd. 7 von Arago's Werken.

**) Siehe S. 139.

Lichtes mit der Menge des neutralen Lichtes, das sich in dem gesammten durch 1 dargestellten Lichtbündel findet, verknüpft, gibt $\cos 2i$ für die erste und $2 \sin^2 i$ für die zweite Menge, wenn i der Winkel ist, welchen der Hauptschnitt der Bergkrystallplatte mit der Polarisationsebene des durch sie hindurchgegangenen Bündels macht. *)

Nach diesen Principien braucht man also nur vollständig polarisirte Lichtstrahlen erst durch eine Bergkrystallplatte, welche parallel mit der Axe geschnitten und so aufgestellt ist, daß man die Winkel ihres Hauptschnittes mit der Polarisationsebene durch einen getheilten Kreis bestimmen kann, und dann durch eine aus mehr oder weniger Elementen zusammengesetzte Säule unter passenden Neigungen hindurchgehen zu lassen, um jede Spur von Färbung im Polariskop hinwegzunehmen. Auf diese Weise erhält man ein graduirtes Polarimeter und nach dieser Methode hat Herr Laugier auf meine Bitte die Tafel erhalten, welche ich jetzt dem Leser vorlegen werde.

In dieser Tafel findet man unterhalb der Mengen des in dem untersuchten Strahle enthaltenen neutralen und polarisirten Lichtes die Neigungen, unter welchen dieser Strahl Säulen von ein, zwei, drei bis zehn Glasplatten durchlaufen muß, um in neutrales Licht verwandelt zu werden.

Diese Tafel wird dienen können zur Lösung zahlreicher Fragen aus der Optik; zur Untersuchung der von verschiedenen Substanzen unter verschiedenen Einfallswinkeln reflectirten und durchgelassenen Strahlen; zur Bestimmung der Gesetze für die Polarisation des atmosphärischen Lichtes u. s. w. Obgleich sie nur Bestimmungen bis zu zehn Glasplatten enthält, sieht man doch leicht, daß sie auch wird dienen können, um die Zusammensetzung von Strahlen zu finden, welche die Anwendung von Säulen aus einer größeren Zahl von Elementen zu erfordern scheinen. Ich habe nämlich S. 167 eine Tafel mitgetheilt, welche die relativen Intensitäten des von einer Glasplatte mit parallelen Flächen unter verschiedenen Neigungen reflectirten und durchgelassenen Lichtes angibt. Andererseits wird zufolge des von

*) Siehe S. 140.

mir entdeckten Gesetzes der Gleichheit der Mengen polarisirten Lichtes in dem reflectirten und dem durchgelassenen Lichte das nach Einschaltung einer Glasplatte unter einem bekannten Winkel bestimmte Verhältniß an polarisirtem Lichte dienen, um das ursprüngliche Verhältniß zu geben, d. h. dasjenige, welches der Versuch nicht direct lieferte. Man begreift auch, daß umgekehrt die durch das graduirte Polarimeter bewirkte Ermittelung der Verhältnisse des polarisirten Lichtes, welche in den Strahlen enthalten sind, die unter den der senkrechten Richtung sehr nahe kommenden Incidenzen reflectirt oder durchgelassen werden, das Verhältniß der Intensitäten der Bündel kennen lehren wird.

Tafel der Neigungen, unter denen eine Glassäule ein polarisirtes Lichtbündel depolarisirt, wenn es durch eine Bergkrystallplatte unter verschiedenen Azimuten hindurchgeht.

Azimut der Bergkrystallplatte vom Hauptschnitte aus = i =	25° 0′	27° 30′	30° 0′	32° 30′
In dem Lichtbündel enthaltenes polarisirtes Licht = cos 2 i =	0,643	0,574	0,500	0,423
In dem Lichtbündel enthaltenes neutrales Licht = 2 sin ² i =	0,357	0,426	0,500	0,577

Zahl der Elemente der Glassäule.	Winkel, unter denen die Glassäule depolarisirt.			
1	"	"	"	"
2	"	"	"	27° 19′
3	"	"	34° 20′	38 6
4	26° 38′	33° 45′	37 25	41 52
5	36 25	39 51	44 24	46 3
6	35 26	42 20	46 50	49 8
7	45 58	47 6	48 55	50 51
8	40 35	44 34	47 25	50 40
9	47 6	50 4	52 42	55 16
10	44 32	47 29	50 3	52 42

Azimut der Bergkryſtallplatte vom Hauptſchnitte aus = i =	35° 0′	37° 30′	40° 0′	42° 30′
In dem Lichtbündel enthaltenes polariſirtes Licht = cos 2 i =	0,342	0,259	0,174	0,087
In dem Lichtbündel enthaltenes neutrales Licht = 2 sin² i =	0,658	0,741	0,826	0,913

Zahl der Elemente der Glasſäule.	Winkel, unter denen die Glasſäule depolariſirt.			
1	18° 58′	25° 6′	32° 47′	38° 01′
2	34 38	41 4	46 50	51 18
3	41 52	45 1	50 31	58 12
4	45 36	50 32	56 28	61 15
5	50 17	52 55	55 41	63 46
6	52 32	55 42	62 19	68 9
7	53 30	57 51	61 35	66 56
8	54 16	58 15	62 10	70 4
9	57 0	59 7	63 13	68 37
10	56 19	59 19	68 37	71 9

Das Polarimeter, ſowie es die beigefügte Figur (Fig. 9, S. 225) zeigt, iſt ein bequemes und leicht tragbares Inſtrument, von dem die Reiſenden ohne Schwierigkeit Gebrauch machen werden. Es kann in der Hand gehalten oder mittelſt eines Fußes auf einen Tiſch geſtellt werden. Der getheilte Kreis mn gibt den Winkel der Glasſäule pq mit dem in das Polariſkop ao durch das Objectiv a eindringenden Lichtſtrahle an. Ein Nonius v geſtattet nöthigenfalls die Ablöſung bis auf Minuten. Durch einen ausgeſpannten Tuchſtreifen sr hält man die von der Säule reflectirten Strahlen ab, in das Polariſkop einzubringen.

Wenn das Polariſkop auf ſeinem Fuße in c beweglich iſt, ſo kann man es unter verſchiedene Winkel ſtellen, die ſich durch den getheilten an den Bewegungen des Inſtrumentes theilnehmenden Kreis de, worauf das Niveau fg die horizontale Linie angibt, meſſen laſſen.

Auf eine andere Weiſe hätte man ebenfalls zur Graduirung des Polarimeters gelangen können.

Man denke ſich ein Rochon'ſches Prismenfernrohr, das einen von zwei gleichen Oeffnungen durchbohrten Deckel trägt; und ſtelle vor dieſe Oeffnungen die beiden Hälften eines und deſſelben durchgeſchnittenen Turmalins ſo, daß ihre Hauptſchnitte auf einander

Fig. 9. — Arago's Polarimeter.

ſenkrecht ſtehen. In einem dergeſtalt vorgerichteten Fernrohre müſſen die Bilder im Brennpunkte aus zwei unter rechten Winkeln polariſirten Strahlen beſtehen. Man wird nun nach Belieben ihre relativen

Intensitäten abändern können, wenn man einen größern oder kleinern Theil der Oberfläche des einen Turmalins bedeckt. Stellt man dann in die Bahn der beiden nach dem Brennpunkte gehenden Strahlen eine senkrecht auf die Are geschnittene Bergkrystallplatte, so werden die Bilder sich färben; mittelst mehr oder weniger geneigter und zwischen dem Objective und der Bergkrystallplatte befindlicher Platten von gewöhnlichem Glase können aber diese Farben zum Verschwinden gebracht werden. Die Versuche werden also eine Scale von Neigungen der Platten geben, welche der Neutralisation der in allen möglichen Verhältnissen polarisirtes Licht enthaltenden Strahlenbündel entsprechen. Ist dies ausgeführt, so gewährt das Fernrohr nach der Entfernung seiner Turmaline ein brauchbares Mittel, um die Zusammensetzung aller von den verschiedenartigsten Substanzen unter allen möglichen Winkeln reflectirten und gebrochenen Strahlen zu erforschen.

III.

Farbegradmesser. — Cyanometer.

Seit 1815 habe ich mich damit beschäftigt, die Aenderung der Nuancen in den verschiedenen Farben, welche die chromatische Polarisation erzeugt, auf die Messung der Intensität von farbigem Lichte anzuwenden. Im Jahre 1845 legte ich der Akademie der Wissenschaften ein Polarimeterfernrohr vor, das von mir zur Anstellung verschiedener Versuche über einen sehr schwierigen Gegenstand, nämlich über die Ursachen der Farben der Körper und über die Messung der Intensität der verschiedenen Farben benutzt worden ist.*) Dies In-

*) Im Jahre 1845 habe ich dieses Fernrohr der Akademie vorgelegt, weil ein talentvoller Künstler, Soleil, der seinen Schwiegersohn Duboscq, einen ebenfalls sehr geschickten Künstler, zum Nachfolger hat, in derselben Sitzung ein Instrument beschrieb, in welchem die Bergkrystallplatten mit entgegengesetzten Drehungen eine wesentliche und sehr wichtige Rolle spielen. Obgleich die beiden Apparate durch ihre Form und ihren Gegenstand gänzlich verschieden sind, habe ich doch geglaubt, darthun zu müssen, daß mein Apparat älter ist als der des scharfsinnigen Optikers. Meiner Ansicht nach müssen die Gelehrten auf das Gewissenhafteste die Rechte der Künstler, welche für sie arbeiten, achten. Sollte dies Princip bisweilen verkannt worden sein,

ſtrument iſt wieder ein Prismenfernrohr, trägt aber vor dem Objective eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene Bergkryſtallplatte, die aus zwei gleich dicken an einander gekitteten und auf das polariſirte Licht in entgegengeſetztem Sinne wirkenden Platten beſteht. Eine dergeſtalt vorgerichtete Quarzplatte dreht die Polariſationsebene des Lichtes in ihren beiden neben einander befindlichen Hälften in entgegengeſetztem Sinne. Daraus folgt, daß in einer gewiſſen Lage des Fernrohrs das Licht, ſelbſt wenn es vollſtändig polariſirt einfällt, ungefärbte Bilder gibt. Wenn dieſe Lage durch Probiren gefunden iſt, ſo braucht man nur irgend aliquote Theile einer der beiden Platten zu bedecken, um die Bilder durch entſprechende aliquote Theile einer der beiden Farben ſich färben zu ſehen, mit welchen die beiden Bilder gefärbt erſcheinen würden, wenn ſie blos von dem durch die eine Hälfte der Platte hindurchgegangenem Lichte gebildet würden. Man erhält alſo beſtimmte Beziehungen zwiſchen den Intenſitäten einer und derſelben Farbe. Bei Benutzung dieſes Fernrohrs mit monochromatiſchen Gläſern wird man folglich zahlreiche durch Polariſationsphänomene complicirte photometriſche Probleme zu löſen im Stande ſein.

Im Jahre 1815 habe ich auch ein Cyanometer conſtruirt, worüber Biot eine kurze Nachricht in das Bulletin de la Société philomatique für Januar 1817 *) einrücken ließ. Ich erzeugte

---

ſo würde ich durch dieſe Erklärungen gezeigt haben, wie unantaſtbar es mir erſcheint.

*) Die in das Bulletin de la Société philomatique von 1817 von Biot eingerückte Notiz lautet folgendermaßen: „Als ich in einer der letzten Nummern dieſes Bulletin die Conſtruction eines auf Vergleichung gegründeten Farbegradmeſſers beſchrieb, welcher ſucceſſive alle Farben der Newton'ſchen Ringe durch die allmälich wachſende Wirkung einer Kryſtallplatte auf einen polariſirten Lichtſtrahl hervorbrachte, habe ich erklärt, wie dieſer Apparat durch eine ſehr einfache Abänderung zu einem Cyanometer umgeſtaltet werden könnte, in welchem die verſchiedenen Nuancen von Blau ſucceſſive durch die Abſtufungen eines und deſſelben Bildes erhalten werden, welches zuerſt das Weiß der erſten Ordnung in der Newton'ſchen Scale darſtellt, und dann allmälich zu dem ſchwachen und dem dunklen Blau derſelben Ordnung, welche dieſem Weiß unmittelbar vorhergehen, aufſteigt.

„Seitdem habe ich von Arago erfahren, daß er vor mir ein Cyanometer con-

das Blau in demſelben, indem ich einen durch Reflexion auf einem ſchwarzen Glaſe polariſirten Lichtſtrahl durch ein Rohr gehen ließ, das an der einen Seite durch eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene Bergkryſtallplatte und auf der anderen durch ein doppeltbrechendes achromatiſirtes Prisma geſchloſſen war. An einem anderen Orte habe ich dies Inſtrument beſchrieben, und die Einwände, die ſich gegen ſeine Anwendung erheben ließen, namhaft gemacht.*) Ich habe es ſpäter in der Weiſe modificirt, daß ſein Gebrauch leichter und ſeine Angaben vergleichbar werden; es iſt nur eine Erweiterung meines Polarimeters. Man weiß, daß mein Polariſkop aus einem Rohre beſteht, welches an dem Objectivende durch eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene 5^{mm} dicke Bergkryſtallplatte und an dem Ocularende durch ein doppeltbrechendes Prisma geſchloſſen iſt. Unter den mannigfachen Farben, welche dieſer Apparat zeigt, wenn polariſirtes Licht durch ihn hindurchgeht, und das Prisma um ſich ſelbſt gedreht wird, findet ſich auch durch einen glücklichen Zufall die Nuance des Himmelblaus. Dieſe blaue Farbe, welche ſehr geſchwächt, d. h. ſtark mit Weiß gemiſcht erſcheint, wenn das einfallende Licht faſt neutral iſt, nimmt allmälich in dem Maaße an Intenſität zu, als die in das Inſtrument eintretenden Strahlen eine größere Menge polariſirten Lichtes enthalten.

Nehmen wir alſo an, das Polariſkop AB (Fig. 10, S. 229) ſei nach einem Blatte weißen Papiers CD gerichtet und zwiſchen dieſem Blatte und der Bergkryſtallplatte B liege eine Säule aus Glasplatten EF, deren Neigung gegen die Axe des Fernrohres ſich ändern läßt.

ſtruirt hatte, in welchem er ebenfalls das polariſirte Licht, aber in anderer Weiſe, benutzte. Die ſucceſſiven Nuancen von Blau werden darin durch eine und dieſelbe feſte blaue Farbe, die ſich ſtufenweiſe und in bekannten Verhältniſſen mit allmälich wachſenden Mengen von Weiß miſcht, erzeugt. Arago hatte einen ſeiner Apparate an Tennant während ſeiner letzten Reiſe in Frankreich übergeben. Im Intereſſe der Wiſſenſchaft iſt zu wünſchen, daß Arago die Details der Conſtruction dieſes Apparates veröffentlicht, ebenſo wie die ſcharfſinnige Anwendung, welche er von demſelben Verfahren der Farbenmiſchungen zur Meſſung der Intenſitätsverhältniſſe des Lichtes auf den verſchiedenen Theilen der Sonne gemacht hat.

*) Siehe den 7. Bd. von Arago's Werken.

Dadurch wird in dem vom Papiere ausgehenden Lichte eine größere oder geringere Menge polarisirter Lichtstrahlen erzeugt. Die im Instrumente entstehende blaue Farbe wächst mit der Neigung der Säule;

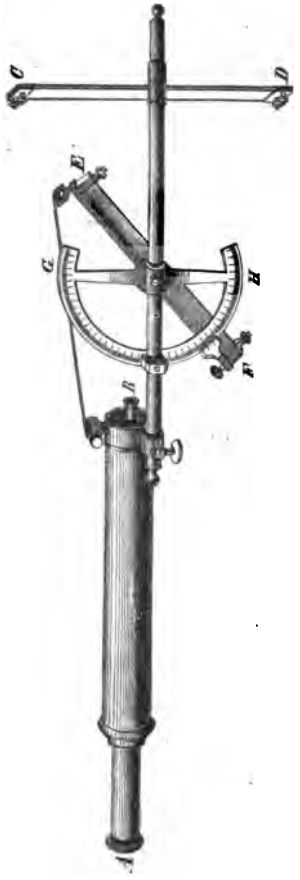


Fig. 10. — Arago's Cyanometer.

man hält mit der Drehung derselben an, wenn die erhaltene Farbe dieselbe Nuance zeigt, wie diejenige Region der Atmosphäre, deren Farbenbeschaffenheit bestimmt werden soll und die man unmittelbar neben dem in der Hand gehaltenen Instrumente mit freiem Auge be-

trachtet. Das Maaß für die blaue Färbung wird durch die Neigung der Säule gegeben, die man auf dem getheilten Kreise GH ablieſt. Wenn die Säule ſtets aus einer gleichen Zahl von Platten derſelben Glasſorte gebildet wird, ſo ſind die an verſchiedenen Orten ausgeführten Beobachtungen untereinander vollſtändig vergleichbar.

Siebente Abhandlung über Photometrie.

Anwendung auf die Löſung verſchiedener Probleme aus der Aſtronomie und Meteorologie.

Der Akademie der Wiſſenſchaften mitgetheilt am 17. Juni 1850. *)

I.

Beſtimmung der Höhe der Wolken.

Als eine der möglichen Anwendungen des graduirten Polarimeters habe ich die Ermittelung der Höhe von iſolirten Wolken angeführt. Einige Perſonen haben über die Ausführbarkeit einer ſolchen Meſſung Zweifel erhoben; ich glaube aber, daß, einmal davon in

---

*) Nicht veröffentlichte Abhandlung, worüber die Comptes rendus der pariſer Akademie nur folgenden Auszug enthalten: „Der Verfaſſer erläutert in dieſer Abhandlung die Principien der Methode, die ihn zur Beſtimmung der Höhe von iſolirten Wolken geführt hat, indem er ſich auf die Phänomene der Polariſation ſtützt.

„Er hat ferner das Verfahren angegeben, mittelſt deſſen man die relativen Intenſitäten des Lichtes beſtimmen kann, welches uns von den verſchiedenen Theilen des Mondes reflectirt wird, und die numeriſchen Werthe der von Herrn Laugier auf ſeine Bitte angeſtellten Verſuche bekannt gemacht.

„Der dritte Paragraph dieſer Abhandlung iſt dem Studium des aſchfarbenen Lichtes gewidmet.

„Im vierten Paragraphen ſind die eigenthümlichen bisher nicht erklärten Reſultate verzeichnet, welche ſich auf das Verſchwinden des Jupiter und ſeiner Monde beziehen, wenn man ihr Licht einer allmälichen Schwächung unterwirft.“

Kenntniß gesetzt, die Reisenden, welche Wanderungen durch gebirgige Gegenden beabsichtigen, Beobachtungen werden sammeln können, welche die Lösung dieses interessanten Problems zu vervollkommnen gestatten. Diese Lösung gründet sich auf mehrere Eigenschaften des atmosphärischen Lichtes, welche durch neue Beobachtungen bestätigt zu werden verdienen.

Zunächst fragt sich: Ist das Licht einer von der Sonne beschienenen Wolke, dasjenige besonders, welches durch sie hindurchgeht, polarisirt?

Die Beobachtungen, die ich angestellt habe, berechtigen mich, eine verneinende Antwort zu geben. Indeß sind, wie wohl zu beachten, die Gelegenheiten, solche Beobachtungen zu machen, sehr selten; der Beobachter muß sich fast in Berührung mit der Wolke befinden, sonst würde sich das polarisirte Licht des zwischen der Oberfläche der Wolke und dem Auge gelegenen Theiles der Atmosphäre mit demjenigen verbinden, dessen Beschaffenheit man studiren will, und zu irrigen Resultaten führen. Zur Ergänzung der wenigen Prüfungen, die ich selbst anzustellen Gelegenheit gehabt oder durch Andere habe ausführen lassen, habe ich versucht mit künstlichen Wolken, das heißt mit dem in Bläschenform aus einem papinianischen Topfe oder aus einem Dampfkessel austretenden Wasserdampfe zu operiren. Ich empfehle also den Beobachtern, das Licht der Wolken, neben welchen sie sich befinden, ganz aus der Nähe mit einem Polariskope zu untersuchen. Was sie zu notiren haben, ist einfach dies: Zeigen die Segmente des auf die Wolke gerichteten Polariskops Farben oder nicht? Barral hat bei den mit Birio ausgeführten Luftfahrten auf mein besonderes Ansuchen die Wolken mit einem ihm von mir übergebenen Polariskope sorgfältig untersucht; seine Beobachtungen haben das Fehlen der Polarisation auf den Wolken, mit denen er in Berührung war, vollständig bestätigt, mochte das in das Instrument gelangende Licht durch die Wolke hindurchgegangen sein oder von ihrer Oberfläche reflectirt werden.*)

Die zweite Frage, welche bestimmt beantwortet werden muß, ist folgende:

*) Bd. 9. S. 412.

Iſt in einer gegebenen Richtung in allen Höhen einer atmoſphäriſchen Säule die relative Menge des polariſirten Lichtes dieſelbe?

Bis jetzt habe ich dieſe Thatſache nur auf indirectem Wege nachgewieſen; es würde aber nützlich ſein, ſie durch einen umſichtigen Gebrauch des Polarimeters in gebirgigen Gegenden oder beſſer noch, wenn ſich Gelegenheit dazu darbieten ſollte, während einer Luftfahrt zu beſtätigen.

Man hat geſucht durch die Erfahrung das Geſetz über die Vertheilung des Lichtes in der Atmoſphäre zu beſtimmen, alſo z. B. zu ermitteln, um welche Größe man ſich in der verticalen oder einer geneigten Richtung erheben muß, damit das atmoſphäriſche Licht auf $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ .... ſeiner urſprünglichen Intenſität reducirt wird. Wenn der weiter oben über das conſtante Verhältniß des polariſirten Lichtes zu dem geſammten Lichte ausgeſprochene Satz für alle Höhen begründet iſt, ſo würde das Geſetz, welches die Abnahme der Intenſität gäbe, gleichzeitig das Geſetz der Abnahme in der ganzen Menge des in jeder Richtung befindlichen polariſirten Lichtes darſtellen.

Dies angenommen, gehe ich zur Erläuterung der von mir zur Meſſung von Wolkenhöhen ausgedachten Methode über.

Geſetzt, eine kleine iſolirte Wolke zeigt ſich; wenn ſie ſehr tief ſteht, z. B. in der Höhe einiger Meter, ſo wird ihr Licht durchaus nicht polariſirt erſcheinen; iſt dagegen ihre Höhe beträchtlich, ſo miſcht ſich das partiell polariſirte Licht des zwiſchen der Wolke und dem Auge gelegenen Theiles der Atmoſphäre mit dem neutralen Lichte der Wolke, und die Miſchung erſcheint partiell polariſirt. Bleiben alle übrigen Umſtände dieſelben, ſo zeigt ſich dieſe partielle Polariſation um ſo intenſiver, je höher die Wolke ſich befindet.

Wir beſtimmen nun mit dem Polarimeter die relative Menge des in dem geſammten Lichte enthaltenen polariſirten Lichtes, und nehmen an, daß die Beobachtung gemacht werde, indem man nach dem einen Rande der kleinen Wolke viſirt.

Wir beſtimmen weiter durch eine directe Beobachtung das Verhältniß zwiſchen der Intenſität des Lichtes, welches dem Rande der Wolke entſpricht und des unmittelbar an die Wolke grenzenden Theiles des Himmels. Nachdem durch die Beobachtung mit dem Polarimeter

das Verhältniß zwiſchen dem polariſirten und dem geſammten Lichte der Wolke bekannt geworden iſt, ſo erhalte ich nun durch eine einfache Proportion das Verhältniß zwiſchen dieſem polariſirten Lichte und dem geſammten atmoſphäriſchen Lichte in der dicht an der Wolke vorbeigehenden unendlichen Richtung.

Die Anwendung des Polarimeters zur Beobachtung des Lichtes in dieſer unbegrenzten Richtung liefert mir ferner die relative Menge des darin enthaltenen polariſirten Lichtes. Durch eine neue Proportion bin ich alſo im Stande, das Verhältniß zwiſchen dem in der Richtung der Wolke und dem in der unbegrenzten dicht neben ihr liegenden Richtung enthaltenen polariſirten Lichte zu finden. Wir nehmen, was wohl nicht bezweifelt werden kann, an, daß die Geſetze der Polariſation in dem Theile der Atmoſphäre, welcher durch die kleine Wolke begrenzt wird, dieſelben ſind, wie in dem unmittelbar daneben liegenden und bis zu den Grenzen der Atmoſphäre reichenden Strahle. Die Aufgabe, die Höhe der Wolken zu beſtimmen, iſt alſo auf die bereits oben geſtellte Frage zurückgeführt: wie viel muß man ſich in der Atmoſphäre in einer gegebenen Richtung erheben, um eine Menge polariſirter Strahlen gleich derjenigen, welche das Polarimeter für den zwiſchen dem Beobachter und der Wolke liegenden Theile der Atmoſphäre liefert, anzutreffen?

Es iſt nicht überflüſſig zu bemerken, daß da eine Wolke in Bezug auf Lichtintenſität zwei getrennte Zonen, eine ſehr helle der Sonne zunächſt liegende, und eine viel dunklere von dieſem Geſtirne abgewandte, darbietet, die Möglichkeit vorliegt, die Beobachtung unter ſehr verſchiedenen Umſtänden anzuſtellen, und daß die hierbei erhaltenen Reſultate ſehr nahe dieſelben ſein müſſen.

Die angegebene Methode ſtützt ſich alſo auf zwei Principien aus der Lehre von der Polariſation, und auf die Bildung einer Tafel über die Vertheilung des Lichtes in der Atmoſphäre, die jedoch in den Handbüchern über Photometrie noch nicht exiſtirt.

Erſtes Princip. „Das Licht einer Wolke, beſonders das von der Sonne kommende und durch die Wolke hindurchgegangene iſt nicht polariſirt.“ Verſuche an natürlichen und künſtlichen Wolken, d. h. an

den aus einem ſtark geheizten Keſſel hervorbrechenden Dampfſtrahlen, haben dies Reſultat feſtgeſtellt.

Zweites Princip. „Die relative Menge des polariſirten Lichtes, die man bei heiterm Himmel in einer beſtimmten Richtung und zu einer gegebenen Tagesſtunde findet, iſt dieſelbe, welche Stellung auf der Oberfläche der Erde man auch einnehmen möge, wofern man nur die Richtung nicht ändert.“ Indem man alſo z. B. immer nach dem Zenithe viſirte, würde man ſtets daſſelbe Verhältniß an polariſirtem Lichte finden, mag man 1000, 2000, 4000 oder 10000 Meter hoch über den Boden ſich erhoben haben. Theoretiſch, und wenn man auf die ſecundären Reflexionen nicht Rückſicht nimmt, müſſen ſich die Erſcheinungen ſo verhalten, wie ich eben geſagt habe. Bei den Verſuchen haben ſie mir mit dieſer Regel übereinſtimmend geſchienen; doch ſind in dieſer Beziehung die Verſuche weder hinreichend abgeändert, noch hinreichend vervielfältigt worden.

Die Tafel, welche die Ausführung dieſer Methode erfordert, wird angeben, welchen Weg man in jeder Richtung zurücklegen muß, damit das geſammte in dieſer Richtung zu dem Beobachter gelangende atmoſphäriſche Licht um $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. ſ. w. oder in einer nach irgend einem andern aliquoten Theile fortſchreitenden Progreſſion abnehme.

Wenn das zweite obengenannte Geſetz richtig iſt, ſo leuchtet ein, daß die polariſirte Lichtmenge mit der Höhe an Intenſität ſich gerade ſo wie das atmoſphäriſche Licht ändern muß, ſo daß, wenn man das natürliche atmoſphäriſche Licht auslöſchen und in jeder Richtung nur das polariſirte Licht erhalten könnte, das Geſetz der Intenſitäten genau daſſelbe bleiben würde.

Iſt dies einmal feſtgeſtellt, und es zeigt ſich eine iſolirte Wolke an irgend einem Punkte des Himmels, ſo wird das Geſetz der Polariſation für den begrenzten, der Wolke entſprechenden und ſehr nahe an ihrem Rande liegenden Theil der Atmoſphäre daſſelbe ſein als wie für den unendlichen Strahl, welcher den Rand der Wolke tangirt und ſich bis zu den äußerſten Grenzen der Atmoſphäre verlängert. Geſetzt nun, mit einem Polarimeter beſtimmt man das Verhältniß des polariſirten Lichtes, welches in der bis zum Rande der Wolke reichenden

Gesichtslinie enthalten ist, so wird dem ersten Principe zufolge dies Verhältniß nur abhängen von demjenigen polarisirten Lichte, welches in dem zwischen der Wolke und dem Beobachter liegenden Theile der atmosphärischen Luft enthalten ist. Wir vergleichen nun die gesammte Intensität dieses begrenzten Strahles mit der Intensität des unendlichen mit ihm nahe zusammenfallenden Strahles. Da man weiß, welchem aliquoten Theile des begrenzten Strahles der in diesem Strahle enthaltene Antheil polarisirten Lichtes gleich war, so wird man jetzt auch wissen, welchem aliquoten Theile des unendlichen Strahles eben derselbe Antheil polarisirten Lichtes gleich ist. Das Polarimeter wird ferner kennen lehren, bis zu welchem aliquoten Theile des unendlichen Strahles das in diesem Strahle enthaltene polarisirte Licht steigt. Wir erfahren also, welches Verhältniß zwischen dem in dem endlichen und dem in dem unendlichen Strahle enthaltenen polarisirten Lichte stattfindet, d. h. wir finden, ob das erstere $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. s. w. vom zweiten ist. Wir haben nun aber angenommen, wir besäßen bereits eine Tafel, welche die Abnahme des atmosphärischen Lichtes, oder was auf dasselbe hinauskommt, die Abnahme des polarisirten Lichtes in dem Maaße, als man sich in der Richtung eines Strahles in der Atmosphäre erhebt, angibt.

In dieser Tafel hätten wir dann die Entfernung zu suchen, welche man zurücklegen müßte, damit das in dem unendlichen Strahle enthaltene polarisirte Licht sich um eine dem in dem begrenzten Strahle enthaltenen polarisirten Lichte gleiche Menge verminderte; und die Aufgabe würde gelöst sein.

Um aus der Länge des auf diese Weise bestimmten begrenzten Strahles die absolute Höhe der Wolke zu erhalten, braucht man nur ein rechtwinkliges Dreieck, dessen Hypotenuse jene Länge des begrenzten Strahles bildet, und dessen einer am Auge des Beobachters liegende Winkel mittelst eines Quadranten oder eines ähnlichen Instrumentes gemessen worden, aufzulösen. Läge die Wolke im Zenithe, so würde man die Höhe direct, d. h. ohne alle trigonometrische Rechnung erhalten.

II.

Relative Intensitäten des von den verschiedenen Theilen der Mondoberfläche nach der Erde hin reflectirten Lichtes.

Die von mir zur Bestimmung der relativen Intensitäten des Lichtes, welches die verschiedenen direct von der Sonne beleuchteten Theile der Mondoberfläche nach der Erde hin reflectiren, ausgedachte Methode beruht ebenfalls auf der Anwendung des Rochon'schen Prismenfernrohrs, vor welchem ein drehbares Nicol'sches Prisma angebracht ist. Der Apparat ist in der Weise eingerichtet, daß ein getheilter Kreis genau angibt, um welchen Winkel man (von einer anfänglichen Lage, in der man nur ein Bild sieht, ausgehend) das Nicol'sche Prisma gedreht hat. Es sei a die Intensität des Lichtes einer gewissen Stelle auf dem Monde, b die Intensität einer andern weniger glänzenden auf der Oberfläche desselben Gestirns. Wir drehen nun das Nicol'sche Prisma um einen solchen Winkel i, daß das schwache oder unregelmäßige Bild der ersten Stelle dem starken oder regelmäßigen Bilde der zweiten gleich wird. Nach dem Gesetze des Cosinusquadrats wird die Intensität des ersten Bildes durch $a \sin^2 i$ und die des zweiten durch $b \cos^2 i$ dargestellt.. Der gemachten Annahme zufolge liefert der Versuch den Winkel i, bei welchem die beiden Bilder gleich hell erscheinen. Man hat also

$$a \sin^2 i = b \cos^2 i,$$

woraus folgt

$$\frac{b}{a} = \frac{\sin^2 i}{\cos^2 i} = \operatorname{tg}^2 i.$$

Das in der Ueberschrift dieses Paragraphen aufgestellte Problem ist also auf die Bestimmung eines Winkels zurückgeführt, den man sehr leicht findet, sobald man in derartigen Untersuchungen etwas geübt ist.

Eine andere nicht weniger leicht ausführbare Methode besteht darin, zu ermitteln, unter welchem Winkel ein Verschwinden des schwachen Bildes eintritt, wenn man es auf das starke Bild projicirt.

Wenn der Mond voll oder fast voll ist, so verfahre ich, um das

Licht des Randes mit dem Lichte jener Flecken, welche Meere genannt werden, zu vergleichen, in folgender Weise mit dem kleinen Prismenfernrohre, das vor seinem Objective ein Nicol'sches Prisma trägt:

Ich suche die Lage der beiden Hauptschnitte, bei welcher das Verschwinden von Rand auf Rand eintritt. Gesetzt dies sei der Fall, wenn das schwache Bild $^1/_{20}$ des starken beträgt. Darauf führe ich den Rand des schwachen Bildes auf den Flecken des starken Bildes und suche ebenfalls das Azimut des Verschwindens. Bei diesem Azimut wird die Intensität des Randes $^1/_{20}$ der Intensität des Fleckens sein. Man hat dann alles, was zur Bestimmung der relativen Intensitäten nöthig ist.

Es sei i das Azimut, T die natürliche Intensität des Fleckens und B die des Randes. In dem starken Bilde wird die Intensität des Fleckens dargestellt durch $T \cos^2 i$. Für die Intensität des Randes in dem schwachen Bilde erhält man $B \sin^2 i$. Der Versuch liefert also die Gleichung:

$$B \sin^2 i = {}^1/_{20}\, T \cos^2 i,$$

woraus folgt

$$T = 20\, B \operatorname{tg}^2 i.$$

Wenn der Mond im Zunehmen ist, und die fraglichen Flecken liegen am Rande des erleuchteten Theiles, so bringt man den Rand des geschwächten Bildes mit dem Flecken des starken Bildes zur Berührung, und macht ihre Intensitäten durch eine directe Vergleichung einander gleich. Die durch die Beobachtung gegebene Gleichung wird dann

$$T \cos^2 i = B \sin^2 i,$$

woraus folgt

$$T = B \operatorname{tg}^2 i.$$

Diese beiden Beobachtungsweisen haben stärker von einander abweichende Resultate geliefert, als man erwarten sollte. Die Erklärung dieser Anomalieen ist leicht zu geben; sie zeigt übrigens, daß man bei dem Studium der Naturerscheinungen, wenn man eine Sache sucht, oft eine andere danebenliegende entdeckt, an die man anfänglich nicht gedacht hatte. Die erwähnten Differenzen rühren offenbar davon her, daß die verschiedenen Punkte auf dem Umfange des Mondes nicht alle gleich leuchtend sind.

Die Beobachtungen der relativen Intenſitäten der verſchiedenen Regionen auf der Mondkugel werden alſo von jetzt an mit Rückſicht auf dieſen neuen Umſtand angeſtellt werden müſſen.

Im Mittel verhält ſich die Intenſität des Randes des Mondes zu der Intenſität der großen Flecken auf demſelben wie 2,7 : 1.

Die Erfahrung zeigt nämlich, daß der Rand des ſchwachen Bildes auf dem Rande des hellen Bildes verſchwindet, wenn das Azimut $13^0\ 25'$ beträgt, während der Rand des ſchwachen Bildes auf den großen Flecken beim Azimut $8^0\ 12'$ verſchwindet. Das Verhältniß x der Intenſität des ſchwachen oder unregelmäßigen Bildes des Randes zu der des ſtarken oder regelmäßigen Bildes deſſelben Randes iſt alſo

$$x = \frac{B \sin^2 13^0\ 25'}{B \cos^2 13^0\ 25'} = \operatorname{tg}^2 13^0\ 25'.$$

Andererſeits hat man auch

$$B \sin^2 8^0\ 12' = x\, T \cos^2 8^0\ 12',$$

woraus folgt

$$\frac{B}{T} = \frac{\operatorname{tg}^2 13^0\ 25'}{\operatorname{tg}^2 8^0\ 11'} = {}^{27}/_{10}.$$

Wenn man durch das andere Beobachtungsverfahren eine ſehr glänzende Stelle des Randes in die Nähe eines dunkeln Fleckens brachte, ſo ergab ſich, daß man, damit dieſe Stelle des Randes an Glanz dem Flecken gleich kam, die Hauptſchnitte der beiden Prismen unter einem Winkel von $14^0\ 15'$ ſtellen mußte, woraus man ſchließt:

$$B \sin 14^0\ 15' = T \cos^2 14^0\ 15'$$

und folglich

$$\frac{T}{B} = \operatorname{tg}^2 14^0\ 15' = \frac{1}{15{,}5},$$

woraus ſich ergibt, daß dieſe Stelle des Randes $15{}^1/_2$mal heller iſt, als der große Flecken.

Ein iſolirter nicht fern der Grenze von Schatten und Licht gelegener glänzender Punkt verſchwand bei dem Azimut $7^0\ 3'$, während der Mond erſt bei dem Azimut $41'$ verſchwand (?). Man hat folglich

$$\frac{P}{L} = \frac{\operatorname{tg}^2 7^0\ 3'}{\operatorname{tg}^2 0^0\ 41'} = 108.$$

Hiernach war also der leuchtende Punkt 108mal heller, als die allgemeine Oberfläche des Mondes.

III.

Untersuchung des aschfarbenen Lichtes.

Um das aschfarbene Licht mit dem Lichte des von der Sonne erhellten Theiles des Mondes zu vergleichen, genügt es, das zweite oder schwache Bild des Mondes allmälich entstehen zu lassen, und in dem Augenblicke mit der Drehung anzuhalten, wo das schwache Bild dieses von der Sonne beleuchteten Theiles dem starken mit ihm zur Berührung gebrachten Bilde des aschfarbenen Theiles gleich ist. Selbstverständlich muß man bei dieser Beobachtung den Punkt auf dem Umfange des Mondes notiren, welcher zur Vergleichung dient, weil nicht alle Punkte dieses Umfangs gleich leuchtend sind.

Der Monat Mai des Jahres 1850 war für derartige Beobachtungen eine wenig geeignete Zeit, weil in dem Augenblicke, wo das aschfarbene Licht sehr sichtbar werden mußte, der Mond fast gleichzeitig mit der Sonne auf- und unterging. Nichts desto weniger haben die nicht zahlreichen Versuche, welche man damals ausführen konnte, gezeigt, daß die Methode genaue Resultate liefern wird, wie dies außerdem auch aus älteren von mir angestellten Versuchen hervorging.

Bei einem ersten, am 16. Mai 1850, als der Mond im ersten Viertel stand, angestellten Versuche, wurde das aschfarbene Licht gleich $^1/_{4000}$ des Mondlichtes gefunden; und nach einem zweiten, am 2. Juni gemachten, ergab es sich geringer als $^1/_{7000}$.

Das Azimut, welches am 16. Mai die Gleichheit zwischen dem starken Bilde des aschfarbenen Lichtes und dem schwachen Bilde des leuchtenden Theiles herbeiführte, war 55′, man hat also die Gleichung

$$L \sin^2 55' = C \cos^2 55',$$

woraus folgt

$$\frac{C}{L} = \operatorname{tg}^2 55' = {}^1/_{3906}.$$

Am darauf folgenden 2. Juni bemerkte man, als der Mond im letzten Viertel stand, keine Spur vom aschfarbenen Lichte. Zu dieser Zeit verschwand das schwache Bild des Mondes fast, wenn das Azimut

41′ betrug. Das Verhältniß der Intenſitäten der beiden Bilder war damals alſo gleich $\text{tg}^2\, 41' = 1/7030$.

Das aſchfarbene Licht war folglich noch geringer als dieſe Größe, d. h. geringer als $1/7000$ von dem Lichte des hellen Theiles des Mondes.

Die Beobachtungen konnten nicht weiter fortgeſetzt und ausgedehnt werden, weil zu jener Zeit der Mond in dem Dämmerungslichte auf- und unterging.

Man findet in der populären Aſtronomie *) das Hiſtoriſche der Frage und die Darlegung der zu verſchiedenen Zeiten über das aſchfarbene Licht vorgenommenen Unterſuchungen.

IV.

Unterſuchung des Lichtes des Jupiter und ſeiner Monde. — Verſchwinden dieſes Planeten und ſeiner Monde.

Im Jahre 1848 habe ich die Beobachtungen wiederholen laſſen, die ich 1843 **) über das Verſchwinden der Monde des Jupiter und des Planeten ſelbſt, wenn man ihren Glanz allmälich ſchwächt, gemacht hatte. Dieſe neuen, mit den frühern übereinſtimmenden Beobachtungen haben gezeigt, daß die Monde verſchwinden, wenn ihr Licht auf $1/12$ reducirt wird, während das Verſchwinden des Jupiter erſt eintritt, wenn ſein Licht auf $1/600$ ſeines urſprünglichen Glanzes reducirt worden iſt.

Hier bieten ſich zwei Schwierigkeiten dar. Warum verſchwinden die Monde, obwohl ſie an Glanz ſo verſchieden ſind, alle auf einmal, wenn man ihre Bilder ſchwächt? Warum verſchwinden die Monde,

*) S. Populäre Aſtronomie Bd. 3. S. 375.

**) Der 17. Band der Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences enthält in Betreff der Beobachtungen von 1843 nur die folgende Notiz (Sitzung vom 2. October): „Herr Arago theilt die Reſultate der Unterſuchungen mit, welche er in der Abſicht unternommen hat, um die relativen Schwächungen in Zahlen zu beſtimmen, denen man die Scheibe des Jupiter und ſeine Monde unterwerfen muß, um ihr Verſchwinden herbeizuführen.“

welche leuchtender sind als der Rand des Jupiter, eher als dieser Rand?

Die erste Schwierigkeit kann gehoben werden, indem man sagt, daß der Unterschied im Glanze der Monde von dem Unterschiede ihrer Durchmesser abhängt. Dagegen scheint es nicht so leicht, von der zweiten Schwierigkeit Rechenschaft zu geben.

Pound's Beobachtungen haben gezeigt, daß die Monde des Jupiter leuchtender sind, als der Planet.

Am 19. März 1850, an welchem Tage der Jupiter vom Monde bedeckt wurde, suchte man wenige Augenblicke nach dem Austritte die Azimute, bei welchen die schwachen Bilder des Jupiter und des Mondes verschwanden, wenn sie auf die Atmosphäre nahe am Rande unseres Satelliten projicirt wurden. Für das Azimut, bei welchem der Jupiter verschwand, ergab sich $2^0\ 37'$, und für das dem Verschwinden des Mondes entsprechende $0^0\ 14'$.

Es sei a die Intensität des atmosphärischen Lichtes, L die Intensität des Mondlichtes und J die des Lichtes vom Jupiter. Wendet man das Gesetz des Cosinusquadrats auf die vorstehenden Beobachtungen an, so erhält man:

$$L \sin^2 14' = a \cos^2 14'$$
$$J \sin^2 2^0\ 37' = a \cos^2 2^0\ 37',$$

woraus sich ergibt

$$\frac{a}{L} = tg^2\ 14' = {}^1/_{60300}$$

$$\frac{a}{J} = tg^2\ 2^0\ 37' = {}^1/_{479}$$

und folglich

$$\frac{J}{L} = {}^{479}/_{60300} = {}^1/_{126}.$$

Sonach war also das Licht, welches uns der Mond sandte, 126mal stärker als dasjenige, welches die Erde vom Jupiter empfing.

In der populären Astronomie *) habe ich über einen Versuch berichtet, aus dem sich ergibt, daß in einem ziemlich großen Raume,

*) S. Populäre Astronomie Bd. 4. S. 281.

von den Polen des Planeten aus gerechnet, das Licht, welches der Jupiter nach uns reflectirt, wenigstens zweimal schwächer ist als dasjenige, welches von dem in der Nähe des Aequators liegenden Gegenden zu uns gelangt.

In demselben Werke *) habe ich das Princip der Methode angeführt, welche man anzuwenden hätte, um die relative Intensität des hellen und dunkeln Streifens des Planeten zu erhalten. Es möge hier, dem gemäß was uns die experimentelle Nachweisung des photometrischen Gesetzes des Cosinusquadrats geliefert hat, allgemeiner erörtert werden, wie sich das gesammte Licht zwischen dem regelmäßigen und dem unregelmäßigen Bilde theilt. Es sei a die Intensität des Lichtes des hellen centralen Streifens, und b die Intensität des dunkeln Streifens, der mit jenem verglichen werden soll. Ist β die Größe, um welche der Hauptschnitt des Prismas gedreht worden, so bezeichnet $b \cos^2 \beta$ die Intensität, welche der dunkle Streifen in dem regelmäßigen Bilde behält, während $a \sin^2 \beta$ die Intensität angibt, welche der helle Streifen in dem unregelmäßigen Bilde erreicht hat. Der Annahme zufolge ist nun für den Drehungswinkel β das regelmäßige Bild des dunkeln Streifens gleich dem unregelmäßigen Bilde des hellen Streifens, so daß man hat

$$b \cos^2 \beta = a \sin^2 \beta$$

oder

$$\frac{b}{a} = \operatorname{tg}^2 \beta.$$

*) S. Populäre Astronomie Bd. 4. S. 274.

Abhandlung,
enthaltend Vorschläge zu Versuchen,

welche nothwendig erscheinen, um die bereits im Jahre 1815 und in den folgenden Jahren erhaltenen Resultate über das Maximum der Dichtigkeit des Wassers, über die Refraction des Wassers unter verschiedenem Drucke, über den Einfluß der Temperatur auf die Refraction der Körper, und über die Refraction des mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkten Hydrophans, zu vervollständigen.*)

I.

Einleitung.

Als ich die Akademie mit meiner Absicht bekannt machte, meine noch unvollendeten Arbeiten zu publiciren, fügte ich hinzu, daß ich die

---

*) Diese Abhandlung ist der Akademie der Wissenschaften am 5. August 1839 vorgelegt worden. Das Sitzungsprotocoll von diesem Tage enthält einen Auszug daraus, welcher außer der Einleitung zur Abhandlung selbst, die folgende Uebersicht ihres Inhaltes enthält:

„Nach dieser Einleitung erinnert Hr. Arago an seine bereits im Jahre 1815 angestellten Versuche über die Refraction des Wassers zwischen einer Temperatur von + 10 Grad und dem Gefrierpunkte; er berichtet über die damals von ihm angewandten Beobachtungsmittel, welche gegenwärtig mit Vortheil durch ein auf die dunkeln Linien Frauenhofer's gerichtetes Fernrohr ersetzt werden können; allein selbst diese weit vollkommenere Beobachtungsmethode, bemerkt der Verfasser, wird vielleicht nur mit Schwierigkeit den Nachweis verstatten, ob das Gesetz der zunehmenden Refraction zwischen + 10° und dem Nullpunkte bei der dem Dichtigkeitsmaximum entsprechenden Temperatur von + 4° einen plötzlichen Sprung erleidet.

darin vorhandenen Lücken mit Unterstützung jüngerer Mitarbeiter,

„Sieht man sich deshalb nach einem genaueren Mittel, die Refraction einer Flüssigkeit zu messen, um, als die Beobachtung der Winkelablenkungen gestattet, so bietet sich ein solches leicht dar, wenn man Strahlen mit einander interferiren läßt, welche durch gleich lange und mit Wasser von verschiedener Temperatur gefüllte Röhren hindurchgegangen sind. Es ist also die Aufgabe, zusammengehörige Röhren herzustellen, welche trotz der Ungleichheit in der Temperatur die nämliche Länge behalten. Hr. Arago legt der Akademie einen Apparat vor, vermöge dessen Construction die Bedingung der gleichen Länge der Flüssigkeitssäulen, wie auch die Temperatur des in den Röhren enthaltenen Wassers variiren möge, vollständig erfüllt ist. Mittelst dieses Apparates wird es leicht sein, die theoretische Vorstellung, auf welche Poisson seine Theorie der Erscheinungen der Capillarität gründete, einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen, und die Frage zur Entscheidung zu bringen, ob in der That die Flüssigkeiten nicht dieselbe Dichtigkeit an ihrer äußeren Oberfläche und in der Nähe der sie einschließenden Wände besitzen, als in ihrem Innern.

„Dieselbe auf die Interferenz des durch zwei mit einer Flüssigkeit gefüllte Röhren hindurchgehenden Lichtes gegründete Beobachtungsmethode könnte ferner dazu dienen, den Betrag zu bestimmen, um welchen die Flüssigkeit sich ausdehnt, wenn sie dem atmosphärischen Drucke, oder einem beliebigen Theile desselben, entzogen wird: unter der Voraussetzung wiederum, daß es gelingt, die relative Länge der Röhren oder Flüssigkeitssäulen unter allen Umständen des Versuches unverändert zu erhalten. Wie Hr. Arago zeigt, läßt sich diese Fehlerquelle durch ein sehr einfaches Mittel beseitigen, dessen Beschreibung der Akademie mitgetheilt wurde.

„Die früher angestellten Experimente über die Refraction von erhitztem Glase waren mit nicht geringen Schwierigkeiten verknüpft, im Hinblicke auf die Unmöglichkeit, zu verhindern, daß bei dem bisher angewandten Apparate die Temperatur des erwärmten Glases sich nicht mehr oder minder dem zur Vergleichung dienenden und nothwendigerweise in großer Nähe befindlichen Glase mittheilte. Hr. Arago gibt an, wie man auch hier im Stande ist, sich vor dem gedachten nachtheiligen Einflusse zu schützen.

„Zum Schlusse seiner Mittheilung hebt Hr. Arago das Interesse hervor, welches eine Wiederaufnahme der vergleichenden Versuche darbieten würde, die von ihm in früheren Jahren über die Refraction des Hydrophans im trockenen Zustande sowohl, als wenn er durch Wasser, Alkohol oder andere Flüssigkeiten durchsichtig gemacht worden, begonnen worden sind.

„Seit der Redaction der gegenwärtigen Notiz, fügt Hr. Arago schließlich hinzu, hat mir unser geehrter College Laugier das Anerbieten gemacht, Alles was sich auf die durch Winkelablenkungen gemessenen Refractionen bezieht, mit Hülfe eines in diesem Augenblicke von dem berühmten Mechanicus Brunner construirten

deren Augen sich noch ihrer ungeschwächten Kraft erfreuen, auszufüllen suchen würde.

Ich habe bereits die Namen der Beobachter genannt, welche sich bei der Vollendung meiner photometrischen Untersuchungen betheiligen wollen. Ihrem Eifer, ihrer Geschicklichkeit, ihrem Wunsche mir gefällig zu sein, bin ich zu aufrichtigem Danke verpflichtet; indessen haben die Resultate unserer gemeinschaftlichen Arbeiten der Akademie nicht so rasch mitgetheilt werden können, als ich gewünscht hätte. Schwierigkeiten in der Beschaffung der zur Beendigung der Versuche erforderlichen Substanzen und Apparate haben uns vielfach aufgehalten, und auf der anderen Seite entsprang Verzug aus mancherlei besonderen Umständen und den persönlichen Berufsgeschäften meiner Mitarbeiter.

Von meinem ersten Plane habe ich mich somit abzugehen genöthigt gesehen, und werde ihn zunächst nur in Bezug auf die photometrischen Untersuchungen vollständig durchführen; was die anderen Arbeiten betrifft, so will ich sie der Akademie vorzulegen mir erlauben, wie unvollendet sie auch sein mögen. In vielen Punkten werde ich mich auf eine Darlegung der Methoden beschränken, die ich zur Beantwortung der zu lösenden Fragen erdacht habe: ich bin sogar gern bereit, meine Apparate zur Verfügung der jungen Beobachter zu stellen, denen der Zustand ihrer Augen das zu vollenden gestattet, was ich fortzusetzen nicht im Stande bin.

Von Jugend auf habe ich die — gute oder schlechte — Gewohnheit befolgt, meine Arbeiten so zu sagen vor den Augen des Publikums auszuführen, und rückhaltlos Freunde und selbst Gleichgültige mit dem jedesmaligen Stande meiner Untersuchungen bekannt zu

---

Instrumentes zu vervollständigen: es bedarf wohl kaum der Versicherung, wie erwünscht mir dieser Vorschlag gewesen ist. Andererseits hat ein der Akademie durch seine Geschicklichkeit und durch wichtige optische Arbeiten rühmlichst bekannter Physiker, Hr. Jamin, die Freundlichkeit gehabt, sich mir als Mitarbeiter für alle Versuche anzubieten, die ich erwähnt habe, und bei denen die Interferenzen eine wesentliche Rolle spielen. Ich darf daher vor der Akademie ohne Anstand aussprechen, daß die Untersuchungen, über deren Zweck ich Mittheilung zu machen mir erlaubt habe, ihrer Vollendung nicht mehr fern stehen."

machen. Es könnte daher möglich sein, daß unter den Personen, welche meinen Vortrag anhören, einige bereits Kenntniß von mehreren der von mir mitzutheilenden Resultate erhalten hätten. Jedenfalls möge mir die Bemerkung gestattet sein, daß ich dieselben nie selbst veröffentlicht habe, und daß man mir das Recht nicht versagen wird, die Mittel und Wege anzugeben, welche mir geeignet erscheinen, um jene Arbeiten zu vervollkommnen und ihre Ergebnisse für die Wissenschaft sicher zu stellen.

Ich beginne diese neuen Mittheilungen, indem ich die Aufmerksamkeit der Akademie heute für die Experimente in Anspruch nehme, welche ich vor längerer Zeit zur Bestimmung des Maximums der Dichtigkeit des Wassers vermittelst seiner Refraction angestellt habe, so wie für die Methoden, die ich zum Zwecke der Vervollständigung und Ausdehnung dieser Arbeit für geeignet halte.

II.

Ueber das Maximum der Dichtigkeit des Wassers.

Wie bei allen Körpern in der Natur wächst die Dichtigkeit des Wassers mit der Abnahme seiner Temperatur. Also ist die genannte Flüssigkeit bei 6° dichter als bei 7°, bei 5° dichter als bei 6°, bei 4° dichter als bei 5°; merkwürdigerweise aber beginnt, wenn die Temperatur von 4° erreicht ist, die Dichtigkeit des Wassers bei fortgesetzter Abnahme der Temperatur sich im umgekehrten Sinne zu ändern, so daß bei 3° die Dichtigkeit geringer ist als bei 4°, bei 2° geringer als bei 3°, bei 1° geringer als bei 2°, bei 0° endlich geringer als bei 1°. Das Wasser hat folglich ein Dichtigkeitsmaximum, einer Temperatur von ungefähr 4 Centesimalgraden entsprechend.

Seitdem diese Anomalie entdeckt worden ist, haben die Physiker dieselbe vielfach zum Gegenstande ihrer speciellen Untersuchung gemacht, sowohl um die Ursache davon zu entdecken, als um so genau als möglich den Thermometergrad zu bestimmen, welchem jenes Maximum entspricht.

Bei den gewöhnlichen Versuchen ist die Bestimmung der Temperatur, bei welcher das Dichtigkeitsmaximum eintritt, mehr oder we-

niger von dem Werthe abhängig, den man für den Ausdehnungscoefficienten des die Flüssigkeit enthaltenden Gefäßes zu Grunde legt. Vor geraumer Zeit, d. h. vor nunmehr 35 Jahren, verfiel ich auf den Gedanken, mich von dieser Quelle von Unsicherheit dadurch zu befreien, daß ich direct, anstatt der Dichtigkeit des Wassers selbst, seine Refraction maß, welche für eine kleine Anzahl von Graden offenbar mit der Dichtigkeit zunehmen muß.

Diesen Gedanken unterwarf ich der experimentellen Prüfung, und zwar finde ich in meinen Tagebüchern, unter dem Datum des 19. Januar 1815, Beobachtungen aufgezeichnet, aus denen hervorgehen würde, daß die Refraction des Wassers, statt ein Maximum bei + 4° des hunderttheiligen Thermometers zu haben, bis zu 0° zunehme, so daß das Dichtigkeitsmaximum für das Wasser ganz hinwegfiele, wenn man seine Refraction als Kriterium wählte. Dies würde folglich eine neue Singularität sein, neben der bereits durch die Beobachtungen früherer Physiker constatirten Anomalie; vielleicht könnte man in der fortgesetzten Steigerung der Refraction des Wassers, seiner abnehmenden Dichtigkeit zum Trotze, den Schlüssel zur Erklärung dieser auffallenden Abnahme finden.

Man könnte z. B. annehmen, daß bei Temperaturen unter 4° ein kleiner Theil des Wassers sich bereits in Eis verwandele, was genügen würde, um die thatsächliche Condensation oder Dichtigkeitszunahme des übrigen Wassers zu verdecken, während auf der anderen Seite die Refraction von 4° bis zum Nullpunkt wachsen muß, da dieselbe von dem in Eis übergegangenen Theil der Flüssigkeit unabhängig sein würde.

Um die Messung leicht und hinreichend scharf zu bewerkstelligen, machte ich das Wasserprisma mittelst eines Prismas von Glas achromatisch; da jedoch bei meinen ersten Versuchen das Glasprisma mit dem Wasser in Berührung stand, so war ich von den Störungen nicht unabhängig, welche die Veränderung der Temperatur in Bezug auf seine Refraction hervorbringen konnte. Bei den Versuchen vom 19. Januar 1815 aber war das achromatisirende Prisma vom Wasserprisma entfernt, und trotzdem blieb die Zunahme der Refraction zwischen + 4° und 0° merklich. Ich füge hinzu, daß die Beobach-

tung an den drei Winkeln des Prisma angestellt wurde, wodurch ich die Ueberzeugung erhielt, daß eine Aenderung in dem Winkel, durch welchen ich in der Regel beobachtet hatte, nicht der Grund der zunehmenden Refraction zwischen 4° und 0° sein konnte.

Ein später mittelst der Methode der Interferenzen*) angestellter Versuch mit zwei gleich langen Röhren, von denen die eine Wasser von 4° enthielt, während die Flüssigkeit der anderen auf dem Nullpunkt war, führte zu dem nämlichen Resultate.

Ich werde jetzt auseinandersetzen, was noch zu thun bleibt, damit diese Beobachtungen in der Wissenschaft definitiv Platz nehmen können.

Zu der Zeit, wo ich meine Versuche anstellte, hatte Frauenhofer seine Beobachtungen über die Streifen im Sonnenspectrum noch nicht veröffentlicht, oder wenigstens waren dieselben noch sehr wenig bekannt. Wenn man heute meine Untersuchungen wieder aufnehmen will, so wird man nach einer der Frauenhofer'schen Linien visiren, und braucht das Wasserprisma nicht achromatisch zu machen, wodurch die aus der Anwendung des achromatisirenden Glasprismas entspringenden Fehlerursachen natürlich vollständig wegfallen.

Ein weiteres, kaum minder genaues, für den vorliegenden Zweck anwendbares Mittel besteht in der Beobachtung des durch das Wasserprisma gebildeten Spectrums durch ein mit Kobalt gefärbtes blaues Glas, wie man für das Wasser zum Mundausspülen anwendet. Dieses Glas hat nämlich die Eigenschaft, im Spectrum deutliche und scharfbegrenzte Unterbrechungen hervorzubringen, welche die Einstellung leicht machen.

Sind aber die geeigneten Mittel gegeben — und solche sind im Vorstehenden enthalten — um für jeden Grad des Thermometers die Refraction genau zu bestimmen, so läßt sich ermitteln, ob diese Refractionswerthe eine Unterbrechung der Stetigkeit darbieten, welche dem Dichtigkeitsmaximum bei 4° Cels. entspricht. Auch wird man finden,

---

*) Ueber die Anwendung der Methode der Interferenzen auf die Untersuchung der Brechungsindices sehe man die folgende Abhandlung, so wie eine im vierten Bande der wissenschaftlichen Aufsätze, Bd. VII. der sämmtlichen Werke enthaltene Notiz.

wie dieſes Geſetz ſich für Temperaturen unter 0° fortſetzt, ſo lange das Waſſer flüſſig bleibt. Dieſe verſchiedenen Verſuche müſſen alsdann mittelſt der Methode der Interferenzen wiederholt werden, nachdem jedoch dafür geſorgt worden, daß die beiden zuſammengehörigen Röhren des Apparates genau dieſelbe Länge behalten, wie auch die relativen Temperaturen der in ihnen enthaltenen Flüſſigkeiten ſich ändern mögen.

Dieſes Reſultat läßt ſich mit Hülfe einer Vorrichtung erreichen, welche ich der Akademie vorzulegen die Ehre habe (Fig. 11.).

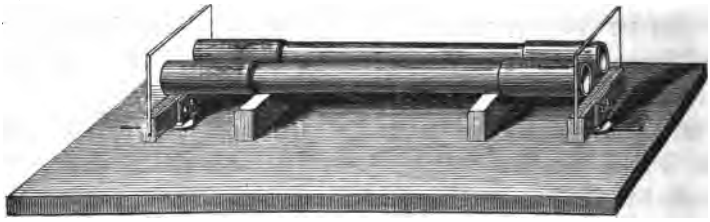


Fig. 11. — Apparat zur Meſſung der Refraction des Waſſers bei verſchiedenen Temperaturen mittelſt der Interferenzen.

Die Einrichtung des neuen Apparates iſt folgende: Zwei Glasplatten ſind vertical und einander parallel, in der Entfernung von 0,5 Meter z. B., auf einem horizontalen hölzernen Brete aufgeſtellt. Zwei Schrauben, deren Muttern auf demſelben Brete befeſtigt ſind, halten die beiden Glasplatten in unveränderlichem Abſtande, ſo lange die Temperatur des hölzernen Trägers ſich nicht ändert. Zwiſchen beide Glasplatten werden zwei Metallröhren eingeſchaltet, welche das Waſſer aufnehmen ſollen.

Die Enden dieſer Röhren reichen bis an die Glasplatten. Nehmen wir einen Augenblick an, daß die Röhren aus einem Stücke beſtehen, ſo müſſen ſie, wenn die Temperatur des darin enthaltenen Waſſers zu ſteigen beginnt, ſich ausdehnen, und infolge dieſer Ausdehnung erfahren die Glasplatten einen Druck von Innen nach Außen. Alsdann ſind zwei Fälle möglich: entweder werden die Platten in der gedachten Richtung wirklich verſchoben, wobei auch die Schrauben ihre Lage verändern müſſen, oder die beiden Metallröhren erleiden eine

Biegung und nehmen statt ihrer ursprünglichen geradlinigen Form eine etwas gekrümmte Gestalt an. Beiden Wirkungen kann man begegnen, wenn man jede Röhre aus drei getrennten Theilen bestehen läßt: aus zwei Endstücken von geringerer Länge, welche sich an die Glasplatten anlegen, während eine dritte Röhre von etwas kleinerem Durchmesser zwischen jene beiden eingeschaltet ist. Diese dritte Röhre muß an ihren Enden mit Fett geschmiert sein, damit der zwischen ihrer äußeren Oberfläche und der Innenfläche der Endstücke enthaltene Raum dem Wasser keinen Durchgang verstattet. Wenn nun die Temperatur der in einer dieser zusammengesetzten Röhren enthaltenen Flüssigkeit steigt, so werden sich offenbar die Wände der beiden Endstücken der betreffenden Röhre von Außen nach Innen ausdehnen, weil sie in der entgegengesetzten Richtung dem starken Widerstande der Schrauben begegnen, welche die Glasplatten festhalten. Dadurch wird erreicht, daß der Abstand der Platten durch jene Ausdehnung keine Veränderung erleidet. Das Mittelstück der Röhre endlich wird sich gleichfalls frei ausdehnen, indem es sich mit Ueberwindung einer unbedeutenden Reibung in die Endstücken hineinschiebt, so daß auch hierdurch kein Druck gegen die Glasplatten entsteht.

Wir bemerken, daß diese Messungen mittelst der Methode der Interferenzen einer ausnehmenden Genauigkeit fähig sind, und wenn man will, zur Bestimmung von Unterschieden in der Refraction führen können, welche Temperaturdifferenzen von Zehntelgraden, und sogar noch weniger, entsprechen.

Die Anstellung dieser Versuche wird zugleich Gelegenheit bieten, um die Frage zur Entscheidung zu bringen, ob wie Poisson in seiner Theorie der Capillarität wollte, die Dichtigkeit des Wassers nicht dieselbe ist an der Oberfläche und im Inneren des Fluidums, und ob sie ferner in verschiedenen Abständen von den Wänden des einschließenden Gefäßes sich ändert.

Folgendes ist demnach das von mir vorgeschlagene Programm:

Mit dem Fernrohre eines Theodoliten oder Repetitionskreises die Refraction des Wassers zu messen, indem man eine der Frauenhofer'schen Linien als Visirpunkt wählt, oder eine der im Spectrum auftretenden Unterbrechungen, wenn ein mit Kobalt gefärbtes Glas

— natürlich das nämliche bei allen unter einander zu vergleichenden Untersuchungen — angewendet wird.

Dieselben Beobachtungen, wenn es möglich ist, mit dem Wasser anzustellen, welches bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkte flüssig bleibt, wenn man jede Erschütterung vermeidet, und durch eine leichte Oelschicht die Flüssigkeit vor der Berührung mit den kleinen in der Atmosphäre schwebenden Eiskrystallen schützt.

Zu prüfen, ob das Gesetz der Veränderung der Refraction einen plötzlichen Sprung, sei es bei 4° oder 0° erfährt.

Die nämlichen Versuche mittelst der Methode der Interferenzen zu wiederholen, und die Resultate derselben Discussion zu unterwerfen.

III.

Refraction des Wassers unter verschiedenem Drucke.

Eine Untersuchung, welche ohne mit den Betrachtungen über das Dichtigkeitsmaximum des Wassers in directem Zusammenhange zu stehen, durch Anwendung der Methode der Interferenzen ebenfalls mittelst eines Apparates von zwei verbundenen Röhren geführt werden kann, ist die Messung der Compressibilität des Wassers. Gewiß ist, daß sich das gewünschte Ziel erreichen läßt, wenn man die Verrückung der Streifen beobachtet, welche von den die in beiden Röhren enthaltenen Flüssigkeitssäulen durchlaufenden Strahlen erzeugt werden; aber wiederum unter der Voraussetzung, daß entweder die beiden Röhren dieselbe Länge behalten, oder daß man sich wenigstens von den Veränderungen unabhängig macht, welche aus dieser Ursache hervorgehen können. Indem ich die Frage von der letzteren Seite betrachtete, verfiel ich auf folgende Lösung des Problems.

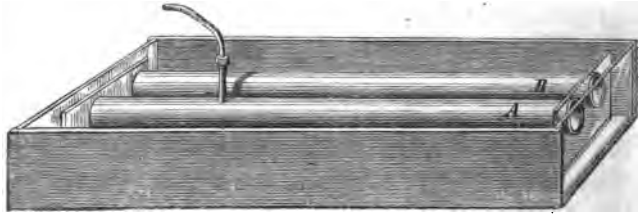


Fig. 12. — Apparat zur Messung der Refraction des Wassers unter verschiedenem Drucke.

Seien A und B zwei mit Wasser gefüllte Röhren von ursprünglich gleicher Länge, die wir, abgesehen von den ihre Enden verschließenden Glasplatten, zu 1 Meter annehmen wollen. Nimmt man mittelst einer Luftpumpe die auf das in der Röhre A enthaltene Wasser drückende Atmosphäre weg, so wird sich die Röhre um eine kleine Größe, z. B. um $1/4$ Millimeter verkürzen. Wir wollen jetzt voraussetzen, die beiden Röhren A und B seien in einem viereckigen Gefäße voll Wasser befindlich, dessen Seiten gleichfalls durch zwei ebene Glasplatten verschlossen sein sollen, während freie Communication mit der Atmosphäre stattfindet. Die Länge des Troges mag die der Röhren nur wenig, z. B. um $1/2$ Millimeter übertreffen. Läßt man nun die Strahlen interferiren, welche durch die beiden Röhren und durch den zwischen ihren Enden und den an den Seiten des Trogs angebrachten Glasplatten enthaltenen Theil des Wassers hindurchgegangen sind, so beträgt die Dicke der durchlaufenen Flüssigkeit ebensoviel als die ganze Länge des Gefäßes, d. h. 1 Meter $+ 1/2$ Millimeter. Nur findet der Unterschied statt, daß bei A diese Länge erhalten wird durch 1 Meter $- 1/4$ Millimeter Wasser, welches dem atmosphärischen Drucke entzogen ist, $+ (1/2 + 1/4)$ Millimeter Wasser unter gewöhnlichem Drucke; während bei B der Lichtstrahl durch 1 Meter $+ 1/2$ Millimeter Wasser mit atmosphärischem Drucke hindurchgeht. Man hat also zu vergleichen eine Wassersäule von 1 Meter $+ 1/2$ Millimeter unter dem Drucke der Atmosphäre, mit einer Schicht von 1 Meter $- 1/4$ Millimeter ohne diesen Druck, vermehrt um $3/4$ Millimeter mit der Atmosphäre communicirenden Wassers.

Das Ergebniß des Versuches wird also von dem idealen Resultate, welches eingetreten sein würde, wenn die Röhre A sich nicht hätte verkürzen können, um nicht mehr abweichen, als um den durch die Substitution von $1/4$ Millimeter Wasser unter dem Drucke der Atmosphäre, an die Stelle von $1/4$ Millimeter Wasser ohne diesen Druck erzeugten Unterschied. Diese Differenz aber kann nur den 20000sten Theil der gesuchten Größe betragen, und darf daher ganz vernachlässigt werden.

IV.

Einfluß der Temperatur auf die Refraction der Körper.

Um Nichts zu übergehen, was in mehr oder minder directer Beziehung zu den eben erörterten Experimenten steht, ist es wünschenswerth zu untersuchen, wie die Refraction durch die Anhäufung von Wärme in den Körpern, unabhängig von der dadurch hervorgerufenen Aenderung in der Dichtigkeit, modificirt wird.

Durch Versuche, welche ich vor längerer Zeit mit zwei Glasmassen von gleicher Länge anstellte, habe ich die Ueberzeugung gewonnen, daß eine erwärmte Masse das Licht in höherem Grade bricht, als dieselbe Masse im erkalteten Zustande. Da es mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft schien, die Glasmasse, welche ich zum Vergleich anwandte, der Einwirkung der um 1 oder 2 Millimeter davon entfernten erhitzten Masse zu entziehen, so verfolgte ich diese Experimente nicht so weit, als es erforderlich gewesen wäre; inzwischen habe ich später überlegt, daß es für das Gelingen des Versuchs keineswegs nöthig ist, daß sich die beiden Massen fast berühren, sondern daß die eine in beträchtlicher Entfernung von der anderen aufgestellt werden kann, wofern sie nur bei ihrer Verrückung sich selbst parallel und in der Richtung des leuchtenden Punktes bleibt.

Uebrigens kann man die Beobachtung an Prismen direct wiederholen, indem man sich der dunkeln Linien von Frauenhofer, wie früher angegeben, zur Erleichterung der scharfen Einstellung bedient.

V.

Ueber die Refraction des mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkten Hydrophans. *)

Gegenwärtig, wo es außer Zweifel gesetzt ist, daß die Brechung,

*) Das Sitzungsprotokoll der Akademie der Wissenschaften vom 1. September 1845 enthält die folgende Notiz: „Nach Uebergabe der Note des Hrn. Ebelmen (über die künstliche Erzeugung des Hydrophans) gibt Hr. Arago einen kurzen Bericht über die Versuche, welche von ihm selbst früher mit prismatisch geschnittenen

welche das Licht beim Durchgange durch die Körper erleidet, nicht das Resultat einer auf die Lichtmolecüle ausgeübten Anziehung ist, sondern daß die Refraction als eine Folge des verschiedenen Zustandes des Aethers in den beiden aneinanderstoßenden Medien, an deren Trennungsfläche die Ablenkung der Lichtstrahlen geschieht, angesehen werden muß: gegenwärtig wird es sehr wichtig, den Umständen nachzuforschen, welche den Zustand des Aethers in einem gegebenen Mittel modificiren können. Vorzugsweise von diesem Gesichtspunkte aus verdienen die Beobachtungen, welche hier mitgetheilt werden sollen, wiederholt und weiter verfolgt zu werden.

Jedermann kennt das von den Naturforschern mit dem Namen Hydrophan bezeichnete Mineral. Nimmt man ein solches Mineral, und schneidet daraus ein Prisma, so ist die Undurchsichtigkeit desselben nicht so groß, um nicht das prismatische Bild der entfernten Gegenstände ganz deutlich zu sehen, vornämlich wenn man in der Nähe der Kante des Prisma hindurchblickt.

Taucht man dagegen das Prisma ins Wasser, so bekommt es eine vollkommene Durchsichtigkeit, und seine Refraction übertrifft die des trockenen Prismas um eine leicht bestimmbare Größe. Nehmen wir nun an, das Hydrophanprisma sei statt durch Wasser, durch ein hinreichend langes Eintauchen in Alkohol durchsichtig gemacht worden, so wird natürlich wiederum die Refraction stärker sein, als beim trockenen Prisma. Da aber Alkohol das Licht stärker bricht, als Wasser, so lag die Vermuthung nahe, daß das in Alkohol getauchte Hydrophanprisma das Licht gleichfalls in höherem Grade brechen würde, als das durch Wasser durchsichtig gemachte. Auffallender Weise schien jedoch die Beobachtung das Gegentheil zu ergeben.

Indessen ist es nöthig, daß die mit bloßem Auge angestellten Versuche wiederholt werden. Auch wird man zu untersuchen haben, ob der durch Wasser und durch Alkohol durchsichtig gemachte Hydrophan

und durch verschiedene Flüssigkeiten getränkten Hydrophanen angestellt worden sind. Aus Mangel an passenden Exemplaren hatten diese Beobachtungen unterbrochen werden müssen; Dank der Arbeit von Hrn. Ebelmen können sie heute wieder aufgenommen und vervollständigt werden."

der ſpecifiſchen Schwere dieſer beiden Flüſſigkeiten proportional an Gewicht zunimmt, in welchem Falle man zu der Annahme berechtigt ſein würde, daß die Flüſſigkeiten blos die zahlreichen Höhlungen ausfüllen, welche den trockenen Hydrophan durchſetzen, ohne irgend eine Spur einer beſonderen chemiſchen Einwirkung.

Ich war im Beſitze eines Stückes Hydrophan, das zu derartigen Experimenten ſich vollkommen geeignet hätte: aber ein Verſuch, den ich damit anſtellte, um zu ſehen, wie es ſich beim Eintauchen in Saſſafrasöl verhielte, hatte zur Folge, daß ich ſpäter das Oel nicht wieder daraus entfernen konnte. Hr. Dumas ſprach die Hoffnung aus, es werde ſich der urſprüngliche Zuſtand wiederherſtellen laſſen, wenn man den Hydrophan in verſchiedenen Flüſſigkeiten kochte; aber wie ich glaube, iſt ihm der Verſuch nicht gelungen.

Abhandlung über die Anwendung der Methode der Interferenzen zur Bestimmung der Brechungscoefficienten.*)

I.

Beschreibung der verschiedenen, auf die Lehre von den Interferenzen gegründeten Instrumente, mittelst deren sich die Brechungscoefficienten aller Körper unter Umständen, wo die gewöhnlichen Verfahren zur Messung gänzlich unzulänglich sein würden, bestimmen lassen.

Da der Zustand meiner Augen mir von jetzt an jede genaue Beobachtung unmöglich macht, so habe ich mir die Freiheit genommen, die Akademie um die Erlaubniß zu bitten, ihr unvollendete Arbeiten mitzutheilen, welche denen, die meine Laufbahn betreten wollen, nützlich sein werden.

Neuerdings eingetretene Umstände haben mir gezeigt, daß ich gut thun würde, mich zu beeilen. Dies ist der Beweggrund, welcher mich heute bestimmt, selbst die Beschreibung bereits wohlbekannter Apparate, die ich zur Lösung verschiedener die Astronomie im höchsten Grade interessirender Probleme angewandt habe, zu veröffentlichen. In Betreff der speciellen Frage der Brechungen kann ich meinen Nach-

*) Letzte von Arago dictirte Abhandlung, die er kurze Zeit vor seinem Tode zur Mittheilung an die Akademie der Wissenschaften bestimmt hatte.

folgern nicht nur den Plan der Beobachtungen, welche noch zu machen übrig sind, liefern, sondern ihnen auch die ganz vollendeten Apparate, deren sie sich würden bedienen müssen, zur Verfügung stellen. Ich wiederhole hier die Ausdrücke, in welchen ich am 26. Februar 1816 über den Versuch, auf den mein ganzes Beobachtungssystem gegründet ist, berichtet habe:

„Wenn ein undurchsichtiger Körper in ein Lichtbündel gestellt wird, so ist sein Schatten außen mit verschiedenfarbigen Streifen von verschiedener Breite eingefaßt. Diese Streifen sind von Newton im dritten Buche seiner Optik untersucht worden; dieser berühmte Physiker spricht aber nicht von den nicht weniger bemerkenswerthen Streifen, welche sich im Innern des Schattens dünner Körper bilden, obwohl bereits Grimaldi in seinem Werke eine detaillirte Beschreibung derselben gegeben hatte, und behauptet sogar ausdrücklich, daß kein Licht in den Kernschatten eindringe. Die Unrichtigkeit dieses Resultates wurde hinreichend von Maraldi und de l'Isle nachgewiesen, die aber zu Grimaldi's älteren Entdeckungen nichts Wesentliches hinzufügten. Dies war der Zustand unserer Kenntnisse über diesen schwierigen Gegenstand, als Dr. Thomas Young den sehr merkwürdigen in den Philosophical Transactions von 1803 veröffentlichten Versuch anstellte, aus welchem folgt, daß es, um sämmtliche im Innern des Schattens eines Körpers gebildete Streifen verschwinden zu lassen, hinreicht, mit einem undurchsichtigen Schirme den Theil des Lichtes aufzuhalten, welcher an dem einen der beiden Ränder vorbei gegangen ist oder vorbeigehen würde, während die neben dem entgegengesetzten Rande hingehenden Strahlen ihren Lauf gerade wie früher fortsetzen können.

„Der Versuch, welcher den Gegenstand dieser Notiz ausmacht, besteht darin, daß man gleichfalls sämmtliche inneren Streifen zum Verschwinden bringen kann, wenn man an die Stelle des von dem englischen Physiker angewandten undurchsichtigen Schirmes eine Glasplatte mit parallelen Flächen setzt. Young hatte gezeigt, daß die Entstehung der innern farbigen Streifen das Zusammentreffen zweier weißen an den beiden Rändern des Körpers in den Schatten hinein gebeugter Strahlen erfordert; die so eben von mir gemachte Mit-

theilung beweiſt noch weiter, daß dieſe Strahlen nur Streifen liefern, wenn ſie unter gewiſſen beſonderen Bedingungen zuſammentreffen; und was über die Natur dieſer Bedingungen keinen Zweifel zu laſſen ſcheint, iſt der Umſtand, daß man durch Anwendung durchſichtiger Schirme von immer größerer Dicke allmälich die Grenze des Verſchwindens erreicht. So verlöſchen die inneren Streifen nicht bei Einſchaltung ſehr dünner vor der Lampe geblaſener Glasblättchen, ſondern werden ſämmtlich je nach der größeren oder geringeren Dicke der Blättchen, um 1, 2, 3 u. ſ. w. Intervalle verſchoben. Ich habe Glimmerblättchen gefunden, welche ſie auf den Raum verlegten, den die gewöhnlichen äußeren Streifen einnehmen; und dies führt zu der Anſicht, daß die dicken, blos auf eine Seite des Körpers geſtellten Gläſer die inneren Streifen nur zum Verſchwinden bringen, indem ſie dieſelben in den von nicht gebeugtem Lichte erhellten Raum verſchieben. Die inneren Streifen liegen unter den gewöhnlichen Verhältniſſen in allen Abſtänden ſymmetriſch zu beiden Seiten des Mittelpunktes des Schattens. Diejenigen, welche ſich unter dem Einfluſſe eines dünnen Glasblättchens bilden, treten mehr oder weniger aus dem Schatten heraus, je nachdem man ſie mehr oder weniger weit vom Körper entfernt auffängt, und nähern ſich ſtets demjenigen Rande, an welchem die Glasplatte angebracht iſt. Mag ein Glas auch noch ſo dick ſein, ſo thut es doch der Bildung der inneren Strahlen durchaus keinen Abbruch, ſobald es den dunklen Körper auf beiden Seiten überragt, ſo daß die einwärts gebeugten Strahlen auf beiden Seiten dieſelbe Glasdicke zu durchlaufen haben. Zwei ungleich dicke, an den beiden Rändern des Körpers aufgeſtellte Gläſer wirken wie eine einzige Platte, deren Dicke dem Unterſchiede beider gleich kommt.

„Alle Umſtände dieſes Verſuches erklären ſich ſehr leicht nach der von Fresnel angenommenen Theorie; dazu würde man aber die Annahme machen müſſen, daß das Licht ſich im Glaſe langſamer bewege, als in der Luft. Die Verknüpfung der Thatſachen wäre dann in Wahrheit der Art, daß man mit Leichtigkeit den Verluſt an Geſchwindigkeit für jede Glasdicke oder für irgend ein anderes Mittel als Function der zur Einheit genommenen Wellenlänge in der Luft ermitteln könnte.“

Die eben geleſene Notiz wurde in den wiſſenſchaftlichen Zeitſchriften vom Anfange des Jahres 1816 abgedruckt. Sie feſſelte in jener Zeit die Aufmerkſamkeit der Phyſiker beſonders durch den Umſtand, daß daraus im Gegenſatz zu dem Emiſſionsſyſtem die Folgerung hervorzugehen ſchien, daß die Geſchwindigkeit des Lichtes im Glaſe weniger groß ſein müßte als in der Luft. Ich ſelbſt, obwohl von dieſem Mangel an Uebereinſtimmung nicht weniger betroffen, hatte, durch die Fresnel'ſche Theorie geleitet, mich beſtrebt, aus meiner Beobachtung einen Plan zu Verſuchen herzuleiten, die zur Auffindung der Brechungsexponenten unter Umſtänden dienen ſollten, wo eine Anwendung der bekannten Methoden nicht möglich geweſen ſein würde. So wies ich z. B. auf die Möglichkeit hin, den Brechungsexponenten gewiſſer durch ſehr einfache und den Goldſchlägern bekannte Verfahren durchſichtig gemachter Metallblättchen zu beſtimmen. So ſah ich die Möglichkeit voraus, die Brechungscoefficienten der trocknen und feuchten Luft zu vergleichen und folgende bis dahin unentſchiedene Frage zu löſen: Muß das Hygrometer bei der Berechnung der atmoſphäriſchen Refractionen eine Rolle ſpielen?

Dieſe Frage mußte mich als Aſtronomen beſonders intereſſiren. Ich machte meinem berühmten Freunde Fresnel den Vorſchlag, ſich mit mir zu ihrer Löſung zu verbinden. Mein Anerbieten wurde bereitwillig aufgenommen, und ich ließ unverzüglich den nöthigen Apparat conſtruiren. Dieſer Apparat beſtand einfach aus zwei meſſingenen Röhren von 1 Meter Länge, welche nebeneinander lagen, und an ihren Enden durch zwei ſehr nahe parallele Glasplatten geſchloſſen waren. Die Interferenzſtreifen bildeten ſich alſo infolge des Durchkreuzens der Strahlen, welche durch die Luft der beiden Röhren hindurchgegangen waren. Um unſer Ziel zu erreichen, hatten wir nur noch den Ort der Streifen zu beſtimmen, wenn die Luft in beiden Röhren denſelben Zuſtand beſaß, und zu ſehen, ob eben dieſe Streifen ihren Ort veränderten, wenn von dieſen beiden horizontalen Luftſäulen die eine trocken nnd die andere feucht war. Durch zahlreiche Verſuche erkannten wir, daß die Einſchaltung der Röhren, ſelbſt wenn die Luft beider denſelben Zuſtand beſaß, eine Verſchiebung der Streifen gleich einem Viertel der Breite eines derſelben veranlaßte. Dieſe Verſchiebung

hatte offenbar in dem Umstande ihren Grund, daß die Dicke der Gläser an den von den interferirenden Strahlen durchlaufenen Punkten nicht genau dieselbe war. Es war eine Art Collimationsfehler, der bei allen späteren Messungen berücksichtigt werden mußte. Für diese Messungen war die Luft in der einen Röhre mittelst Aetzkali getrocknet, während die benachbarte Röhre, in welcher wir eine hinreichende Menge Wasser ausgebreitet hatten, als mit Feuchtigkeit gesättigt angenommen werden konnte. Die Einschaltung der so vorgerichteten Röhren veranlaßte eine Verrückung der Streifen um die anderthalbfache Breite eines derselben. Zog man von dieser Größe die durch Mangel an Parallelismus der Gläser entstandene Verschiebung von einer Viertelbreite ab, weil sie in demselben Sinne erfolgte, so blieb für die Wirkung einer feuchten Luftsäule von 1 Meter Länge, verglichen mit einer gleich langen Säule trockner Luft, eine Verschiebung von $1^1/_4$ Streifen übrig. Uebrigens erfolgte die Verschiebung um die angegebene Größe stets nach der Seite der Aetzkali enthaltenden Röhre, was ohne weitere Discussion bewies, daß die trockene Luft ein klein wenig stärker bricht, als die feuchte.

Es war sehr leicht, aus diesem Versuche das numerische Verhältniß der Geschwindigkeit des Lichtes in trockner und in mit Feuchtigkeit gesättigter Luft, oder was auf dasselbe hinauskommt, die relativen Brechungsexponenten für diese zwei verschiedenen Zustände der Luft herzuleiten. Hier trat aber ein Bedenken ein, das anfangs nicht vorausgesehen war, mir aber sehr gewichtig zu sein schien: es wäre möglich gewesen, daß sich etwas Feuchtigkeit auf die inneren Flächen der beiden Theile der Glasplatten, welche die wasserhaltige Röhre verschlossen, niedergeschlagen, und daß folglich diese Glasstücke bei dem Versuche gerade so gewirkt hätten, als ob ihre Dicke vergrößert worden. Wäre diese Voraussetzung richtig gewesen, so hätte die Verschiebung der Streifen nach der Seite der trocknen Röhre sich vermindert finden müssen. Der Versuch bewies also, daß die trockene Luft stärker brach als die feuchte, jedoch ohne den genauen Werth des Unterschiedes zu liefern.

Ich behauptete, daß über diese Schlußfolgerung hinaus der Versuch ohne Werth sei. Mein Mitarbeiter und Freund Fresnel theil

meine Ansicht nicht; er hatte überdies aus dem Fehlen von Regenbogenfarben auf den die feuchte Röhre verschließenden Glasflächen zu erkennen geglaubt, daß keine flüssige Schicht sich auf denselben abgesetzt hatte. Ich verkannte das Gewicht dieser Betrachtungen nicht, besonders weil sie sich auf Beobachtungen durch ein Auge, dem Nichts entging, gründeten; indessen wünschte ich ein überzeugenderes Mittel zur Hebung dieses Bedenkens, das auch von jedem Beobachter angewandt werden könnte. Das Mittel bestand in Folgendem:

Ich ließ zwei Röhren anfertigen, die aber nicht mehr jede 1 Meter, sondern nur 3 Centimeter lang waren. Ich schloß sie durch dieselben Glasplatten, die wir bei dem ersten Versuche angewandt hatten, goß Wasser in das eine dieser Röhrenstücke und brachte Aetzkali in das benachbarte. In diesem Falle hätte bei der Wiederholung der Versuche der Unterschied zwischen der Brechung so kurzer Röhren von trockner und feuchter Luft unmerklich sein müssen, und die Verschiebung der Streifen nur von der Feuchtigkeit, welche sich auf den die feuchte Röhre schließenden Glasflächen abgesetzt hätte, herrühren können. Bei zahlreichen Wiederholungen des Versuches fand ich nun aber keine Spur mehr von jener Verschiebung um $1^1/_4$ Streifenbreite, die bei Anwendung der Röhren von 1 Meter Länge unabänderlich beobachtet wurde. Jene Verschiebung von $1^1/_4$ Streifenbreite hing also ihrer ganzen Größe nach von der Wirkung der feuchten Luft, und keineswegs von einer auf die innern Wände der diese Röhre verschließenden Gläser niedergeschlagenen dünnen Wasserschicht ab.

Fresnel und ich machten die Beobachtung über die durch Einschaltung einer feuchten Luftschicht veranlaßte Verschiebung der Streifen, wobei wir zwei Röhren von 2 bis 3 Centimeter Länge benutzten (?), im Jahre 1818.

Ein Jahr später vervollständigte ich die Untersuchung und beseitigte gänzlich das Bedenken, das man aus der Annahme eines Niederschlags von Wasser auf die inneren Flächen der die wasserhaltige Röhre schließenden Glasplatten hätte hernehmen können.

Um diese Zeit schenkten wenige Physiker der Wellentheorie einiges Zutrauen. Um sie zu veranlassen, anzunehmen, daß die in den vorhergehenden Versuchen angegebene Verschiebung um $1^1/_4$ Streifen be-

wieſe, daß die feuchte Luft etwas ſchwächer bräche als die trockne, glaubte ich mich auf directe Verſuche einlaſſen zu müſſen. Nachdem ich zwei ähnliche Röhren, wie die zu den erſten Verſuchen benutzten, hatte herrichten laſſen, brachte ich auf jeder derſelben Barometerröhren an, um dadurch zu erfahren, welche Dichtigkeit die in ihnen enthaltene Luft beſäße.

Auf dieſe Weiſe fand ich, daß ein Unterſchied in dieſen Dichtigkeiten, der 1^{mm} auf 50 entſprach, hinreichte, um die Streifen um $1^1/_4$ Breite zu verſchieben.

Es genügte alſo ein faſt unmerklicher Unterſchied in den Brechungscoefficienten der in den beiden Röhren eingeſchloſſenen Luft, um in der Lage der Streifen den Unterſchied hervorzubringen, welchen der mit 1 Meter feuchter und trockner Luft angeſtellte Verſuch ergab.

Ohne den Apparat zu ändern, ſtellte ich noch folgende Verſuche an: die Richtigkeit der Wellentheorie vorausſetzend, beſtimmte ich die Brechungsexponenten der Luft bei verſchiedenen Dichtigkeiten, und die Uebereinſtimmung dieſer Reſultate mit denjenigen, welche aus der Emiſſionstheorie folgten, machte auch die Ungläubigſten wankend. Damals ſprach Laplace zu einem Mitgliede der Akademie die folgenden für einen jungen Mann ſo ſchmeichelhaften Worte, die unmittelbar der Preſſe anvertraut wurden: „Ich weiß nicht, warum man ſo wenig von dem ſo merkwürdigen Verſuche Arago's redet, bei welchem der Brechungsexponent der Körper durch Strahlen, welche nicht gebrochen worden ſind, beſtimmt wird.“

Bis zu dieſer Zeit glaube ich das in der fünften Ausgabe der Exposition du système du monde (1824) ausgeſprochene Urtheil zurückführen zu müſſen, auf das ich erſt in dieſen letzten Tagen aufmerkſam gemacht worden bin: „Endlich hat Arago ſich durch ein ebenſo genaues als ſcharfſinniges Verfahren überzeugt, daß der Einfluß der Feuchtigkeit der Luft auf die Brechung unmerklich iſt.“

Aber nicht blos in dem durchſichtigen Zuſtande des Dampfes exiſtirt das Waſſer in der Atmoſphäre; es befindet ſich bisweilen darin im Zuſtande von Dunſtbläschen oder von Wolken, durch welche die Sterne wahrgenommen und beobachtet werden können. Welche Refractionstafel hat man in dieſem Falle anzuwenden?

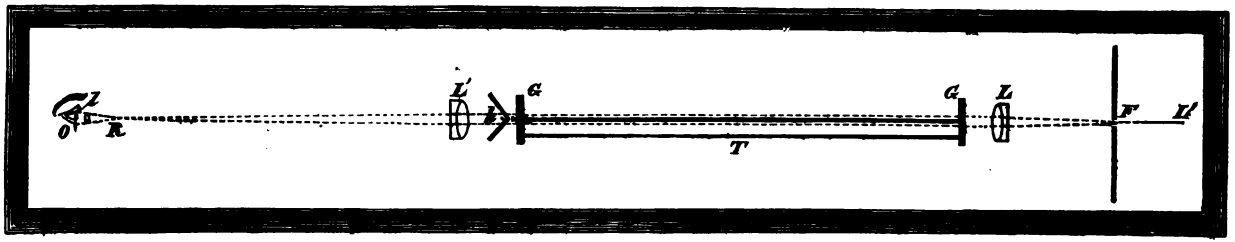


Fig. 13. — Ideeller horizontaler Durchschnitt von Arago's Interferenzapparat zur Messung der Brechungen.

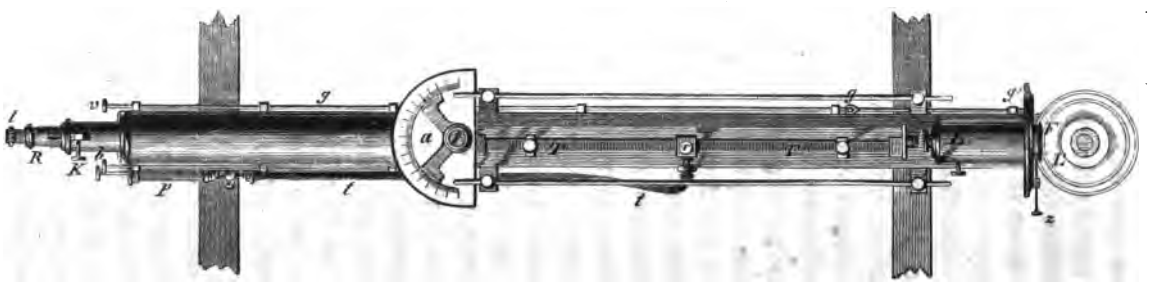


Fig. 14. — Grundriß des Arago'schen Interferenzapparates.

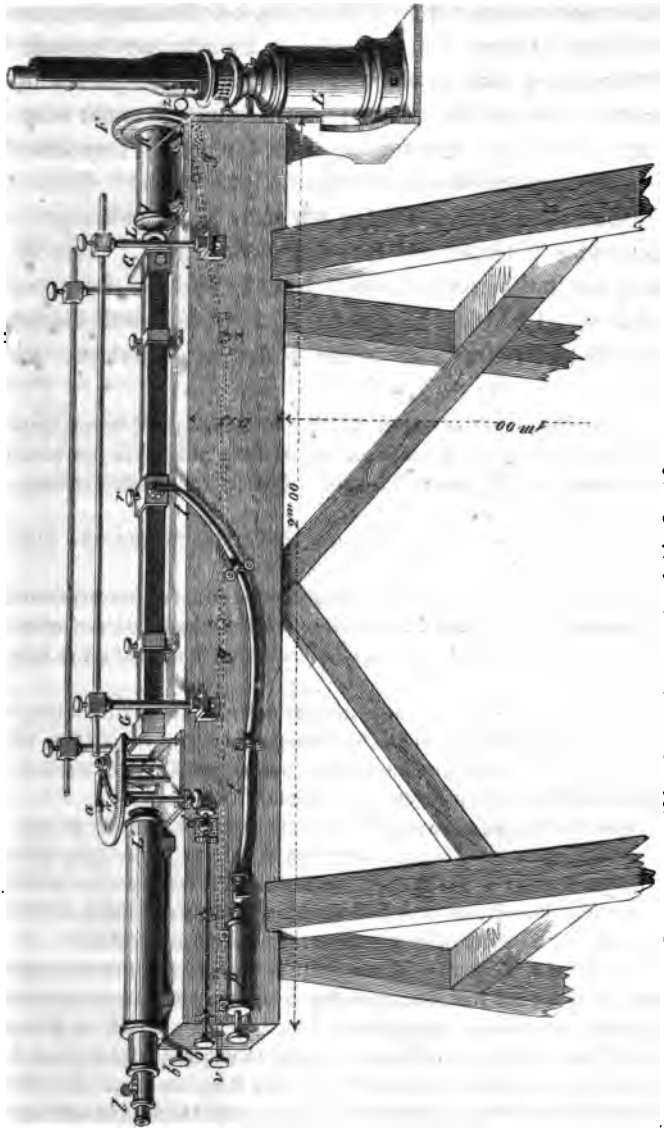


Fig. 15. — Ansicht des Arago'schen Apparates, um durch die Interferenzen den Brechungsexponenten der mit Dunst beladenen Luft zu bestimmen.

Um dieſe Frage zu löſen, mußte man die zuvor beſchriebenen Beobachtungsverfahren auf die Beſtimmung des Brechungsexponenten der mit Dunſt beladenen Luft anwenden. Da aber der Verſuch nur in freier Luft und nicht in einem dunkeln Zimmer, wo der Dunſt ſich bald zerſtreut haben würde, gemacht werden konnte, ſo mußte man auf ein Mittel denken, die Streifen mit einer künſtlichen, unveränderlich mit dem Apparate verbundenen Lichtquelle zu erzeugen. Soleil und ſein Schwiegerſohn Duboscq haben ſich dieſer Mühe unterzogen, und nach zahlreichen Verſuchen das Ziel vollſtändig erreicht. Dies iſt der Urſprung des Inſtrumentes geweſen, das ich jetzt dem Leſer vorlege (Fig. 13, 14, 15, 16, 17, 18). *) Das experimentelle Verfahren iſt übrigens ſehr einfach: es beſteht darin, die Strahlen, welche

*) Dieſes Inſtrument, ſowie es Soleil und Duboscq für Arago conſtruirt haben, iſt von Moigno im Anfange des Jahres 1854 in dem von ihm herausgegebenen Journal Cosmos abgebildet worden. Hier folgen eine Beſchreibung und vollſtändigere Zeichnungen.

Die Figur 13 auf S. 264 iſt ein durch die Axe des Inſtrumentes geführter ideeller Durchſchnitt.

Die Figur 14 auf der nämlichen Seite gibt einen Grundriß des Apparates.

Die Figur 15 auf S. 265 endlich ſtellt den ganzen Apparat in perſpectiviſcher Anſicht dar. Das Inſtrument ſteht auf einer hölzernen Bank, auf der es ſolid befeſtigt iſt.

An dem Apparate ſind vier Theile zu unterſcheiden: 1) die Beleuchtungsvorrichtung; 2) der Röhrentheil; 3) die Interferenzvorrichtung oder der Theil, wo die Interferenzen entſtehen und gemeſſen werden; und endlich 4) der Ocular-theil, wo das Auge ſich befindet und die Erſcheinung betrachtet.

1) Die Beleuchtungsvorrichtung. L' (Fig. 14 und 15) iſt eine gut brennende Moderateurlampe, welche durch einen Conſol in ſolcher Höhe gehalten wird, daß der Mittelpunkt des Dochtes dem Mittelpunkte des Apparates entſpricht. Die gläſerne Zugröhre iſt von einem Halbcylinder aus dünnem inwendig verſilberten Bleche bedeckt, um die Lichtſtrahlen mit größerer Intenſität zu reflectiren.

F (Fig. 13, 14, 15 und 16) iſt eine längliche verticale Spalte mit beweglicher Oeffnung, die man durch Umdrehung des Kopfes z in dem einen oder andern Sinne nach Belieben erweitern oder verengern kann; die man ferner mittelſt des Kopfes v, der mit ihr durch die horizontale Stange gg' (Fig. 14 und 15) in Verbindung ſteht, um ihre Axe drehen und nach rechts und links neigen kann, um ſie gut zu centriren. Die Spalte liegt im Brennpunkte der Linſe L (Fig. 13, 14, 15), ſo daß die von ihr ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linſe parallel werden;

durch eine mittelſt austrocknender Subſtanzen vom Dunſte befreite Röhre gegangen waren, mit den durch den Dunſt in der Luft hindurchgegangenen Strahlen zur Interferenz zu bringen, und zu beobachten, wieviel die Streifen verſchoben werden und in welchem Sinne.

---

die Linſe L wirkt alſo als Collimator und die Strahlen, welche ſpäter ſich interferiren ſollen, können als aus unendlicher Entfernung kommend betrachtet werden.

2) Der Röhrentheil. Er wird als aus zwei geſchloſſenen, neben einander liegenden Röhren beſtehend angenommen; in den meiſten Verſuchen kann man aber die eine dieſer beiden Röhren entbehren und ſie durch einen der Luft zugänglichen Raum erſetzen. In den Zeichnungen (Fig. 13, 14, 15) ſieht man nur die eine meſſingene Röhre T von rechtwinkligem Querſchnitte, die an ihren beiden Enden durch zwei planparallele Gläſer G, G verſchloſſen iſt. Dieſe Gläſer verlängern ſich über die Wand der Röhre T hinaus in den der Luft zugänglichen Raum, welcher die zweite Röhre erſetzt, damit für den Durchgang der zur Interferenz kommenden Strahlen Alles vollkommen ſymmetriſch iſt.

In der Röhre T iſt eine Oeffnung angebracht, in welcher ein Bleirohr t mittelſt

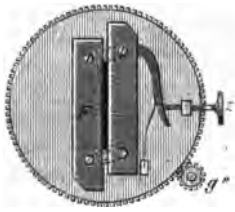


Fig. 16. — Einführung des Lichtbündels in den Arago'ſchen Interferenzapparat.

einer durch die Druckſchraube r (Fig. 14 und 15) angepreßten Hülſe befeſtigt wird. Dies Bleirohr ſteht mit der Luftpumpe p in Verbindung; durch abwechſelndes Hin- und Herbewegen des zu ſeiner Hand gelegenen Stempels kann der Beobachter das Leitungsrohr t und die Röhre T leer pumpen.

Fig. 17 ſtellt eine Art Flaſche F' dar, von derem Halſe das Caoutchoucrohr t' ausgeht, das mittelſt einer Hülſe und einer Druckſchraube r' ſehr nahe an dem andern Ende G der Röhre T befeſtigt iſt. Den Boden dieſer Flaſche bildet eine dünne Scheibe aus poröſem Holze, die mittelſt einer Schraube ſtark gegen einen innern Anſatz angepreßt iſt. Wenn man den Kolben p in Bewegung ſetzt und dadurch die Luft aus der Röhre T ſaugt, um daſelbſt augenblicklich einen leeren Raum zu erzeugen, ſo dringt Luft von außen durch die Holzſcheibe hinein; hat man nun auf letztere Stückchen eines flüchtigen feſten Körpers gelegt, oder einige Tropfen

Herr Laugier hat die Güte gehabt, bei dieſer Beobachtung meine Stelle zu vertreten, und mir berichtet, daß die Verſchiebung der Streifen ſtets

einer flüchtigen Flüſſigkeit darauf gegoſſen, ſo wird die Luft, welche in die Röhre eintritt, mit Dämpfen beladen ſein, während die Luft außerhalb der Röhre rein bleibt. Auf dieſe Weiſe wird man alſo die Wirkung der erzeugten Dämpfe auf die Lichtſtrahlen ſtudiren können.

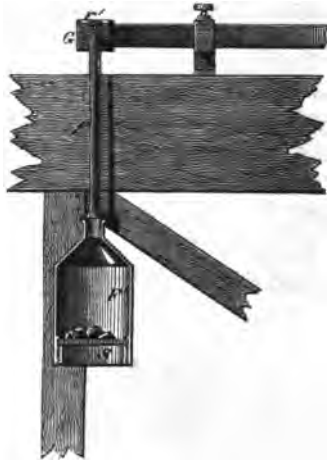


Fig. 17. — Verfahren, um Dünſte in den Arago'ſchen Interferenzapparat einzuführen.

Die Figur 18 endlich ſtellt zwei an der Oberſeite offene Röhren α, α' von quadratiſchem Querſchnitte dar; man ſetzt ſie an die Stelle der Röhre T, wenn man das Brechungsvermögen des Waſſers oder irgend einer andern Flüſſigkeit bei der umgebenden Temperatur mit dem Brechungsvermögen derſelben Flüſſigkeit nach

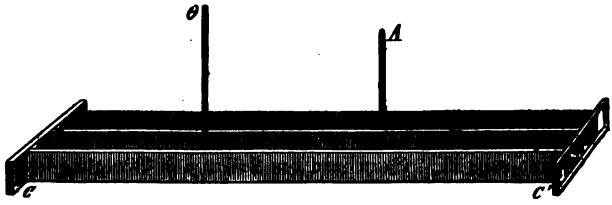


Fig. 18. — Röhren, welche bei der Beſtimmung des Brechungsexponenten der Flüſſigkeiten in den Arago'ſchen Apparat gebracht werden.

im Sinne des Dunstes erfolgte und gewöhnlich nur 3 oder 4 Streifenbreiten betrug. Aus diesem Versuche folgt, daß die mit Dunst beladene

---

Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur oder nach dem Zusatz einer andern Flüssigkeit vergleichen will. Die offenen Seiten gestatten in die Flüssigkeit sowohl einen Rührer A, um sie gehörig zu mischen und überall dieselbe Dichtigkeit und dieselbe Temperatur herzustellen, als auch ein Thermometer θ zur Bestimmung dieser gleichförmigen Temperatur einzuführen. Die beiden Röhren sind an ihren Enden in gleicher Weise durch die beiden Parallelgläser C, C' geschlossen.

3) Die Interferenzvorrichtung. Vor und sehr nahe an dem linken Glase G (Fig. 14 und 15), der verticalen Trennungslinie der beiden Röhren, oder der völlig geradlinigen Scheidewand, welche den geschlossenen Theil von dem offenen trennt, gegenüber erhebt sich ein Hemmniß, das aus einem in Fig. 15 abgebildeten dreiseitigen Prisma besteht. Die verticale Kante dieses Prismas liegt auf der Seite des Lichtes, und seine Hypotenuse hat eine Breite von 2^{mm}. Rechts und links von dieser Basis finden sich zwei rechtwinklige Oeffnungen oder freie Räume von 1^{mm} Breite. Das aus der Spalte F kommende und durch die Linse L parallel gemachte Lichtbündel wird in zwei ebenfalls parallele Bündel getheilt: das eine dringt in die Röhre T ein und tritt durch eine der Oeffnungen, welche auf der einen Seite der Kante des Hemmnisses eingeschnitten ist, aus; das andere wird durch dasselbe Hemmniß in die zweite Oeffnung geführt. Das erste Bündel geht also durch die Röhre T, welche leer oder mit Dampf gefüllt ist, oder das Mittel enthält, dessen Brechungsvermögen man untersuchen will; das zweite Bündel geht durch den freien oder mit Luft gefüllten Raum. Infolge der Verschiedenheit der durchdrungenen Mittel, infolge der verschiedenen Einwirkungen, denen sie ausgesetzt gewesen sind, oder kurz ausgedrückt infolge der Ungleichheit der Wege werden diese beiden Bündel jenseits des Hemmnisses Interferenzstreifen erzeugen, aus deren Verschiebung man experimentell den Gangunterschied und folglich die eingewirkt habenden Einflüsse zu beurtheilen vermag.

Gleich hinter den Oeffnungen finden sich zwei dünne breite planparallele Gläser h (Fig. 15) in verticaler Stellung. Diese Gläser sind in zwei verticale Rahmen gefaßt, die jedoch die beiden verticalen inneren Ränder frei lassen. Diese letzteren sind einander so viel als möglich genähert, damit die Lichtbündel ganz durch die Gläser hindurchgehen; die beiden Rahmen sitzen oben an einer gemeinschaftlichen verticalen Axe, um welche sie sich drehen können. Um diese Rotationsbewegung auszuführen, hat man an den oberen horizontalen Rändern der Rahmen, welche die Gläser tragen, zwei kreisförmige horizontale Sectoren von ungefähr 60° befestigt; diese Sectoren greifen in zwei am Ende zweier verticalen Axen befindliche Getriebe. Diese Axen tragen unten zwei horizontale konische Räder, in welche zwei andere verticale konische Räder, die mit den beiden Stäben d und den beiden Köpfen bb (Fig. 14 und 15) zusammenhängen, eingreifen. In Fig. 15 erkennt man sehr gut,

Luft nur sehr wenig stärker bricht als die trockne, was man sicherlich, mit Rücksicht auf die Geringfügigkeit des Unterschiedes, nicht vermuthet

---

wie man durch Umdrehung eines Kopfes b die entsprechende verticale Axe und mit dieser Axe den auf ihr sitzenden gezähnten Sector und durch den Sector das Glas in Drehung versetzt, welches letztere auf diese Weise um seine feststehende Kante einen Winkel beschreibt. Um diesen Winkel messen zu können, hat man oberhalb der beiden gezähnten Sectoren horizontal einen getheilten Halbkreis angebracht, der mit zwei Alhidaden mit Nonius a versehen ist. Der Mittelpunkt des getheilten Kreises, so wie die Drehpunkte der Alhidaden liegen auf der gemeinschaftlichen Axe der beiden Rahmen; diese bilden gewissermaßen mit den obern horizontalen Rändern der beiden Gläser ein Stück. Die Alhidaden drehen sich folglich gleichzeitig mit den Gläsern und beschreiben dieselben Winkel wie diese; die Größe der Winkel wird durch die Anzahl Grade zwischen den Nullpunkten der Alhidaden und denen des getheilten Kreises angegeben. Wenn der Nullpunkt der Alhidade mit dem Nullpunkte des getheilten Kreises zusammenfällt, so steht das Glas senkrecht auf dem Lichtstrahle, und die von letzterem im Glase zurückgelegte Strecke ist ein Minimum; diese Strecke wächst in dem Maaße, als das Glas gedreht oder gegen die Richtung des Strahles geneigt wird; sie wächst im umgekehrten Verhältnisse des Cosinus des Drehungswinkels des Glases. *)

Die beiden eben beschriebenen Platten zusammengenommen versehen in dem Apparate den Dienst eines Compensators in der Weise, daß wenn eines der Bündel beim Durchgange durch ein minder dichtes oder weniger brechendes Mittel einen geringern Weg durchlaufen hat, wovon die Verschiebung der Interferenzstreifen nach der Seite des dichtern oder stärker brechenden Mittels die Folge ist, man durch Neigung der in die Bahn des ersten Bündels gestellten Glasplatte diesen Strahl in diesem Glase einen größern Weg durchlaufen lassen und so den Wegunterschied compensiren oder die durchlaufenen Wege gleich machen kann, wodurch die verschobenen Streifen auf das Centrum des Apparates zurückgeführt werden. Durch Combination der successiven Drehungsbewegungen oder Neigungen der Gläser gelangt man auch sehr einfach dahin, die Verschiebung der Streifen sowohl durch die Bestimmung der Anzahl der nach der Seite des stärker brechenden Mittels verworfenen Streifen, als auch durch die directe Messung des von dem centralen Streifen durchlaufenen Raumes zu schätzen.

Anstatt in die Bahn eines jeden Bündels eine Glasplatte zu stellen, kann man auf jeder Seite ein Plattenpaar anbringen, um zu erreichen, daß die zur Interferenz kommenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Gläser in derselben geraden Linie weiter gehen, in der sie sich zuvor bewegten; dies erfordert, daß die

---

*) Diese Angabe ist nur richtig, wenn man die Brechung im Glase vernachlässigt. Anmerk. d. d. Ausg.

haben würde. Denn wollte man annehmen, daß die Strahlen auf der 1 Meter langen Strecke die flüssigen Häutchen, welche die äußere Hülle der Dampfbläschen bilden, durchdrängen, so müßten sie beträchtlich aufgehalten werden; machte man aber andererseits die Voraussetzung, daß sie nach dem Orte der Interferenz gelangten, indem sie zwischen den Molecülen hingingen, ohne ein einziges zu durchdringen, so hätten sie denselben Einfluß erfahren müssen als wie bei der Fortpflanzung in der feuchten Luft in dem vorhergehenden Versuche.

Ist dies einmal festgestellt, so begreift man leicht, wie die Sonne oder ein Stern, durch die Wolken gesehen, genau in derselben Höhe erscheint, als wenn der Himmel vollkommen heiter wäre. Diese Gleichheit in der Höhe geht thatsächlich aus Beobachtungen hervor, die seit dem Jahre 1809 von mir unternommen und durch Laplace, auf dessen Bitte ich sie angestellt hatte, dem Längenbureau mitgetheilt worden sind. Der berühmte Geometer führt unter Andern die Sonnenbeobachtungen an, die ich durch ziemlich dicke Nebel und Wolken vom 11—12. November und am 22. December 1809 gemacht hatte.

II.

Historische Bemerkungen über die Bestimmung der Brechungsexponenten der feuchten und der mit Dünsten beladenen Luft.

Ich war sehr erstaunt, in der 1849 erschienenen Ausgabe des

---

beiden Platten eines jeden Paares sich gleichzeitig in entgegengesetztem Sinne, die eine vorwärts, die andere rückwärts, um genau gleiche Winkel drehen.

4) Der Oculartheil. Dieser Theil des Instruments besteht (Fig. 14 und 15) aus einem Fernrohre, das von einer Linse L'', welche als Objectiv dient, und einer Ocularlinse l gebildet wird. Zwischen Objectiv und Ocular hat man vollkommen vertical eine feine Nadel oder einen Mikrometerfaden zum Behufe der genauen Einstellung angebracht, indem man mit diesem Faden stets den centralen hellen zwischen zwei schwarzen eingeschlossenen Streifen zusammenfallen läßt, um die Verschiebungen zu beurtheilen. Der Beobachter stellt die Röhre l R (Fig. 14) ein mittelst des in der Figur 16, welche die vordere Ansicht des Endes dieser Röhre darstellt, angedeuteten Verfahrens (?). Man bedient sich zu diesem Zwecke des Stabes gg', der mit Universalgelenken bei x (Fig. 15) versehen ist, und das Getriebe '' in Bewegung setzt; indem man den Kopf v in dem einen oder dem andern Sinne

vom Sir John Herschel veröffentlichten astronomischen Handbuchs die folgende Stelle zu finden: „Uebrigens wird die brechende Kraft der Luft merklich von ihrer Feuchtigkeit afficirt.“

Dieser Satz steht in offenbarem Widerspruche mit dem von Fresnel und mir erhaltenen Resultate, das 1822 in einem Supplemente zu Thomson's Chemie veröffentlicht worden ist.*)

Es interessirte mich, nachzuforschen, auf welche Versuche der berühmte englische Astronom sich stützte; denn ich konnte nicht annehmen, daß er ohne Weiteres sich mit einem Experimentator von Fresnel's Verdienst in Widerspruch gesetzt haben würde. Was ich Genaueres über diesen Gegenstand gefunden habe, besteht in Folgendem:

Im Jahre 1796 vermuthete Huddart, daß die Phänomene der Luftspiegelungen, die er auf dem Meere beobachtet hatte, von einer Abnahme der Dichtigkeit oder der brechenden Kraft in den untern atmosphärischen Schichten abhingen. Seiner Meinung nach war diese Abnahme die nothwendige Folge der Verdampfung. Wie änderte aber der Wasserdampf die Dichtigkeit oder das Brechungsvermögen der trocknen Luft? Huddart hat diese Frage nicht zu entscheiden versucht; seine Abhandlung enthält keine Messung, keine Beobachtung am Thermometer oder Hygrometer in den Schichten, wo die Trajectorie, welche das umgekehrte Bild erzeugte, entstand. Wir wissen jetzt, daß diese umgekehrten Bilder, daß die Phänomene der Luftspiegelung im Allgemeinen Wirkungen der hohen Temperatur und als Folge davon der geringern Dichtigkeit der auf einem nackten und die Wärme stark absorbirenden Boden ruhenden Luftschichten sind. Huddart's Vermuthungen waren also ohne wissenschaftlichen Werth.

In Monge's Schriften findet man in Bezug auf die in Aegypten beobachteten Luftspiegelungen folgende Stelle:

„Die Erhöhung der Temperatur ist nicht die einzige Ursache, welche unter einem constanten Drucke die untere Schicht der Atmosphäre auszudehnen vermag. Die Luft besitzt nämlich die Fähigkeit,

---

dreht, richtet man die Spalte F rechts oder links, bis die Interferenzstreifen sehr deutlich und bestimmt erscheinen.

*) S. den Anhang am Schlusse dieses Bandes.

Waſſer aufzulöſen, und ſelbſt den Punkt der Sättigung zu erreichen, ohne ihre Durchſichtigkeit zu verlieren; und Sauſſure hat gezeigt, daß das ſpecifiſche Gewicht der Luft mit der Menge des in ihr aufgelöſten Waſſers abnimmt. Wenn alſo der auf dem Meere wehende Wind eine Luft bringt, die nicht mit Waſſer geſättigt iſt, ſo löſt die untere, mit der Meeresfläche in Berührung ſtehende Schicht neues Waſſer auf und verdünnt ſich. Dieſe Urſache, verbunden mit der ſchwachen Temperaturerhöhung, kann endlich die für die Luftſpiegelung günſtigen Umſtände herbeiführen, und in der That dieſe von den Seeleuten ſo häufig beobachtete Erſcheinung hervorrufen."

Man müßte ſehr kühn ſein, um aus dieſen vagen Raiſonnements die in der Decade égyptienne angeführte Folgerung, daß unter gewiſſen Umſtänden die Feuchtigkeit der Luft ihre brechende Kraft vermindere, herzuleiten.

Wollaſton machte am 9. September 1801 eine Beobachtung, die mit der zufälligen Anſicht von Huddart und Monge übereinzuſtimmen ſchien; indeß glaubte er bei einer andern Gelegenheit dieſen Schluß nicht beſtätigt zu ſehen. (Philosophical Transactions, 1803).

Es kamen dann die directen Beobachtungen, die ich im Jahre 1806 mit Biot*) unternahm, die aber keinen merklichen Unterſchied zwiſchen dem Brechungsvermögen der trocknen und der feuchten Luft ergaben.

Um dieſe Aufzählung vollſtändig zu machen, muß ich eine im vierten Bande der Mécanique céleste**) von Laplace befindliche Rechnung anführen. Beim Mangel directer Meſſungen nahm dieſer berühmte Geometer an, daß das ſogenannte Brechungsvermögen für Waſſer und für ſeinen Dampf gleich groß wäre, und leitete aus dieſer Hypotheſe die Zunahme der Brechung der feuchten Luft im Verhältniß zur trocknen her. Indeß ſtimmt die Annahme eines gleichen Brechungsvermögens für eine Flüſſigkeit und den aus ihr erzeugten Dampf durchaus nicht mit den Beobachtungen überein, wie Petit und ich in

*) S. den Anhang zu dieſem Bande.

**) S. 274.

einer am 11. December 1815 vor der Akademie der Wissenschaften gelesenen Abhandlung gezeigt haben.*)

Sonach rechtfertigt kein mir bekannter Versuch Sir John Herschel's Behauptung. Ich hoffe, mein berühmter College wird mir gestatten, gegen ihn auszusprechen, daß man, je unbestrittener und je unbestreitbarer der Rang ist, den man einnimmt, um so mehr sich hüten muß, unbedachtsam gewagte Behauptungen in die Wissenschaft zu bringen.

Meine Interferenzversuche gaben allerdings einen Unterschied zwischen dem Brechungsvermögen der trocknen und der feuchten Luft; aber die so feine und empfindliche von mir ausgedachte Methode zeigt, daß bei der Berechnung der astronomischen Refractionen dieser Unterschied vernachlässigt werden darf.

Die gelehrte Welt ist wiederholt von meinen Versuchen über diesen Gegenstand in Kenntniß gesetzt worden, und das Protocoll der Sitzung des Längenbureau vom 5. Februar 1840 enthält ebenfalls die folgende Stelle:

„Herr Arago spricht von seinem Versuche über die Bestimmung des Brechungsunterschiedes zwischen trockner und feuchter Luft. Die Streifen verschieben sich nach der Seite der trocknen Luft. Die feuchte Luft ist also die weniger brechende. Indeß gab es ein Bedenken; es könnte sich Wasser auf die Glasplatten, welche die Röhren schließen, absetzen. Man hat sich überzeugt, daß ein solcher Einfluß nicht vorhanden war, weil sehr kurze Röhren keine meßbare Verschiebung erzeugten."

Ich komme jetzt zu den oben angeführten Versuchen über den Brechungsexponenten der mit Nebel oder Wolken beladenen Luft.

Eine ähnliche Untersuchung, wie die von mir gemachte, ist mit gleichem Resultate von Peters in Pulkowa unternommen worden. Man pflegt gewöhnlich diesem ausgezeichneten Astronomen diese experimentelle Entdeckung, wenn es eine Entdeckung ist, zuzuschreiben. Man sehe z. B. in dieser Beziehung die von dem Präsidenten der londoner astronomischen Gesellschaft bei Gelegenheit der von dieser

*) S. oben S. 97 ff.

Gesellschaft dem russischen Astronomen mit vollem Rechte zuerkannten Medaille gehaltene Rede. Adams drückt sich folgendermaßen aus: „In der Abhandlung des Herrn Peters gibt es noch andere Discussionen über mehrere interessante Punkte der Wissenschaft, wie z. B. über den Einfluß der Wolken auf die Refraction u. s. w." (Rede von Adams S. 121 der Monatsberichte der astron. Gesellschaft.)

Ich würde keinen Grund haben, gegen das Vergessen meines Namens Widerspruch zu erheben, wenn die fragliche Thatsache nicht veröffentlicht, wenn sie nur den Mitgliedern des Längenbureau seit länger als 40 Jahren mitgetheilt worden wäre; ich kann mich aber auf eine Publication von 1838 stützen. In dem Annuaire von diesem Jahre (Aufsatz über das Gewitter) findet sich in der That folgende Stelle: *)

„Die zickzackförmigen Bahnen der Blitze sind stets so sonderbar erschienen, daß man sogar seine Zuflucht dazu genommen hat, sie als bloße optische Täuschungen zu betrachten, als das Resultat unregelmäßiger Brechungen, welche die Lichtstrahlen in den Dünsten der Atmosphäre und in den Wolken erleiden sollen. (Logan, Phil. Transact. Vol. 39.)

„Die Astronomen, welche so häufig Gelegenheit haben, Sterne durch Dämpfe und Wolken zu beobachten, und sie dabei stets in derselben Höhe, wie bei reiner Atmosphäre finden, werden sich natürlich nicht mit einer ernstlichen Widerlegung des seltsamen Einfalles Logan's befassen wollen."

Uebrigens bestand die Schwierigkeit bei der vorhin gestellten Frage darin, zu erklären, wie Wolken von prismatischer Form, d. h. Wolken, wo die Ein- und Austrittsflächen der von den Sternen kommenden Lichtstrahlen stark gegen einander geneigt waren, diese Strahlen, ohne sie abzulenken, hindurchlassen.

Diese Schwierigkeit habe ich durch die in dieser Abhandlung berichteten Versuche gehoben.

*) S. 181 der sämmtl. Werke Arago's.

Anhang.

[Der erste Theil dieses Bandes enthält alle Abhandlungen, welche Arago über die Optik hinterlassen hat. Von diesen 17 Abhandlungen waren nur 4 bei Lebzeiten des berühmten beständigen Secretärs der Akademie der Wissenschaften publicirt worden; indeß hatte derselbe Sorge getragen, das Datum jeder seiner Entdeckungen durch kurze in verschiedene Sammlungen aufgenommene Notizen festzustellen. Alle diese Notizen sind in diesem Anhange zusammengestellt, welcher außerdem auch einen Auszug aus mehreren tausend nicht veröffentlichten, von Arago über die Polarisation und Brechung gemachten Versuchen, ferner handschriftliche Fragmente in Bezug auf mehrere optische Phänomene, sowie der Akademie über denselben Gegenstand abgestattete Berichte, nebst Erläuterungen und Kritiken über verschiedene Abschnitte aus der Theorie des Lichtes enthält.]

I.

Bemerkungen über einige optische Erscheinungen, welche sich auf die Abhandlung vom 18. Februar 1811, auf die Abhandlung über farbige Polarisation vom 11. August 1811, und auf die Abhandlung über mehrere neue optische Phänomene vom 14. December 1812 beziehen. *)

Mittelst eines achromatisirten Kalkspathprismas untersuche ich

*) S. Seite 3 bis 26, 31 bis 59, und 68 bis 77 dieses Bandes. — Diese Bemerkungen sind nicht publicirt worden.

unter einem Winkel von ungefähr 35° die farbigen Ringe, welche den Berührungspunkt zweier auf einander gelegter Linsen umgeben. Ich drehe das Prisma, bis nur ein einziges Ringsystem sichtbar ist, und schalte dann zwischen die Linsen und das Prisma eine senkrecht auf die Kanten des sechsseitigen Prismas geschnittene Bergkrystallplatte mit parallelen Flächen ein: man sieht dann, welches auch die Lage des Krystalles sein möge, zwei Ringsysteme, vorausgesetzt daß die reflectirten Strahlen seine Fläche senkrecht treffen.

Mit bloßem Auge oder durch den Kalkspath bemerkt man nur sechs deutliche Ringe; nach Einschaltung der Krystallplatte unter den zuvor ausgesprochenen Bedingungen bleiben eben diese sechs Ringe in jedem Systeme in gleicher Weise sichtbar, erscheinen aber von einer Reihe von Ringen von geringerer Breite umgeben, die mit den ersten denselben Mittelpunkt haben. Diese neuen Ringe schließen sich an die andern an, wenn die Flächen des eingeschalteten Krystalles auf den reflectirten Strahlen senkrecht sind. Wenn man aber diese Neigung ändert, so sieht man die neuen Ringe im Durchmesser wachsen, in der Breite abnehmen und endlich verschwinden, wenn der Winkel zwischen den reflectirten Strahlen und den Flächen des Krystalles hinreichend spitz ist.

Bei der Beobachtung mit freiem Auge trägt die Einschaltung der Bergkrystallplatte in keiner Weise zur Vermehrung der Anzahl der sichtbaren Ringe bei.

Läßt man die Krystallplatte kleine Schwankungen um die senkrechte Lage machen, so sieht man, wie wir oben gesagt haben, die Reihe der supplementären Ringe (nach allen Richtungen) an Größe zunehmen. Die aneinanderstoßenden drängen sich zusammen und verschwinden endlich vollständig; es ist aber merkwürdig, daß sie nur stückweise verschwinden. Wenn z. B. die dem Krystalle ertheilte Bewegung, von seiner ersten Lage aus gerechnet, von Ost nach West gerichtet ist, so daß der Winkel zwischen den reflectirten Strahlen und der Krystallfläche auf der Westseite spitz wird, so verschwindet der westliche Theil der supplementären Ringreihe zuerst. Das Umgekehrte würde eingetreten sein, wenn die Bewegung der Platte anfänglich von West nach Ost gerichtet gewesen wäre u. s. w.

Man wird gleichfalls bemerken, daß der Theil der Ringe, welcher zuerst verschwinden muß, derjenige ist, welcher zuerst sich verschiebt und am schnellsten bewegt, wenn man den Krystall aus seiner ursprünglichen Lage zu entfernen beginnt.

Wenn die Flächen des eingeschalteten Krystalles auf den reflectirten Strahlen senkrecht stehen, so schließt sich die Reihe der supplementären Ringe unmittelbar an die Hauptreihe an; da nun aber diese letzte Reihe durch die Bewegung des Krystalls ihren Ort nicht ändert, so folgt daraus, daß in dem Augenblicke des Verschwindens der supplementären Reihe die Ringe, woraus sie besteht, von den Hauptringen durch einen ganz farblosen Raum getrennt werden.

Wenn man von der Lage ausgehend, wo die Strahlen der reflectirten Ringe die Flächen des eingeschalteten Krystalles senkrecht treffen, diesem Krystalle kleine Bewegungen nach allen Richtungen ertheilt, so wird man, wie ich schon oben gesagt habe, bemerken, daß die ganze supplementäre Ringreihe nicht auf einmal verschwindet. Stets verschieben sich die supplementären Ringe auf der Seite, wo die erweiterte Krystallfläche die Glaslinsen treffen würde, zuerst und mit größter Geschwindigkeit; der diametral gegenüberliegende Theil wird von dieser Bewegung zuletzt afficirt. Daraus folgt, daß bei senkrechter Incidenz die Hauptringe und die secundären Ringe denselben Mittelpunkt haben, daß dagegen dieser Umstand nicht mehr stattfindet, sobald der Krystall verrückt wird, weil der Theil der Ringe, gegen welchen der Krystall sich neigt, sich früher und schneller vergrößert als der andere. Im Augenblicke des Verschwindens scheint mir die supplementäre Reihe aus conchoidalen Bogen, ähnlich denjenigen, welche man in gewissen Richtungen auf der zwischen zwei zusammen gelegten Prismen eingeschlossenen Luftschicht bemerkt, gebildet.

Aus dem, was ich in meinen Abhandlungen berichtet habe, ergibt sich, daß wenn man unter angemessener Neigung durch ein Kalkspathrhomboeder und durch die gegenüberliegenden Flächen eines Bergkrystalles nach farbigen Ringen blickt, man wahrnimmt:

1) Zwei Hauptreihen von Ringen, die aus der im Innern des

Kalkſpathrhomboeders erfolgenden Zerlegung der polariſirten Lichtſtrahlen, welche die mit bloßen Augen geſehenen Ringe bilden und durch die Bergkryſtallplatte depolariſirt worden ſind, in zwei Bündel hervorgehen.

2) Zwei ſupplementäre Reihen, deren Lagen und Größen bis auf einen gewiſſen Punkt mit der Lage des eingeſchalteten Kryſtalles zuſammenhängen, und die durch die Reflexionen gebildet zu ſein ſcheinen, welche die erſten Ringe zwiſchen den verſchiedenen Blättchen, woraus der Kryſtall beſteht, erleiden.

3) Endlich zwei Reihen von Ringen, die im Innern des Kryſtalles ſelbſt durch das weiße polariſirte Licht erzeugt werden, welches die verſchiedenen Oberflächen der Linſen reflectiren. Dieſe letzten Reihen und die ſupplementären Reihen ändern ihren Ort, wenn man die Flächen des eingeſchalteten Kryſtalles gegen die Strahlen neigt; die Hauptringe dagegen bleiben immer an derſelben Stelle. Es iſt indeß zweckmäßig zu bemerken, daß, weil die Bergkryſtallplatte die Eigenſchaft, die Strahlen zu depolariſiren, nur unter wenig von der ſenkrechten Richtung entfernten Incidenzen beſitzt, man nur die Reihe von Ringen ſehen wird, welche mit bloßen Augen ſichtbar iſt, wenngleich man immer das Rhomboeder benutzt, ſobald der Einfallswinkel der reflectirten Strahlen mit den Flächen des eingeſchalteten Kryſtalles merklich von 90° abweicht.

Den eben beſchriebenen ganz analoge Phänomene beobachtet man übrigens, wenn man anſtatt einer Bergkryſtallplatte ein Glimmer- oder Gypsblättchen zwiſchen die Linſen und das Rhomboeder von isländiſchem Doppelſpathe einſchaltet. Die breite Reihe von Ringen, deren Urſprung ich der zwiſchen den verſchiedenen Blättchen des Kryſtalles erfolgenden Zerlegung des von den beiden Oberflächen der Linſen zurückgeworfenen weißen Lichtes zuſchreibe, iſt während der Verrückungen des Kryſtalles ſehr ſchnellen Bewegungen unterworfen, deren hauptſächlichſte Umſtände anzugeben mir zweckmäßig erſcheint.

Wenn die eingeſchaltete Platte ſenkrecht auf den reflectirten Strahlen ſteht, ſo ſieht man mittelſt des Prismas an ihren Rändern ſchön gebildete Ringe, deren Mittelpunkte das Auge zu entſprechen

scheint. Neigt man die Platte nach links, so sieht man die Ringe sich sofort nach rechts verschieben, wo sie verschwinden. Wäre die Bewegung entgegengesetzt gewesen, so würde man umgekehrt die Ringe haben nach links wandern und dort verschwinden sehen. Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich, nach welcher Seite der Krystall auch verrückt werden möge.

Aus alle dem geht hervor, daß die dritte Ringreihe, die oben S. 277 erwähnt wurde, und deren Mittelpunkt fast mit dem Mittelpunkte der ersten Hauptreihe zusammenfällt, wenn der eingeschaltete Krystall auf den reflectirten Strahlen senkrecht steht, diese Reihe mit irgend einem ihrer Ränder trifft, wenn der Krystall in der einen oder andern Richtung aus seiner ursprünglichen Lage verrückt wird. Während dieser Bewegung verschieben sich die Reihen, die ich secundäre genannt habe, nach den bereits angegebenen Gesetzen, und die Hauptringe bleiben beständig unbeweglich. Auf das Verschwinden dieser Ringe durch die Bewegung des Krystalles folgt unmittelbar das Verschwinden der zweiten Hauptreihe, zu welcher die Depolarisation der Strahlen im Innern des eingeschalteten Krystalles Veranlassung gegeben hat. Uebrigens scheinen diese Eigenschaften ausschließlich den auf der Axe des sechsseitigen Prismas senkrechten Querschnitten zuzukommen; denn ein in zwei entgegengesetzten Richtungen geschliffenes Stück Bergkrystall zeigte die beschriebenen Erscheinungen nur senkrecht gegen diese Axe, obgleich in beiden Fällen die Strahlen durch dieselben materiellen Molecüle hindurchgehen mußten.

Es wird nicht schwer sein, aus diesen Resultaten die Richtung der Uebereinanderlage der Blättchen, aus denen man den Bergkrystall gebildet denken kann, sowie im Allgemeinen die verschiedenen Umstände seiner innern Structur herzuleiten, von denen die Eigenschaft dieses Krystalles, wenn er in gewissen Richtungen geschnitten ist, die Bilder zu verdoppeln, abhängen muß.

II.

Von den eigenthümlichen Veränderungen, welche die durch Firnisse gebildeten farbigen Ringe darbieten. *)

Die Mechaniker überziehen die von ihnen bearbeiteten Messingplatten ziemlich allgemein mit einem besondern Firniß. Dieser Firniß, dessen Hauptbestandtheile Alkohol und Schellack sind, wird mit einem Pinsel auf die noch heiße Platte aufgetragen und bildet einen Ueberzug von unmerklicher Dicke, auf dem man deutlich die Farben der Ringe bemerkt. Zur Ausführung der in Folgendem zu berichtenden Versuche benutzte ich einen Fernrohrdeckel, auf welchem man sehr schöne farbige Ringe, deren gemeinschaftliches Centrum mit dem Mittelpunkte des Deckels selbst zusammenfiel, wahrnahm. Die regelmäßige Form der Ringe rührte ohne Zweifel von kreisförmigen Furchen, welche während des Umdrehens beim Poliren entstanden waren, sowie von der dünnen Firnißschicht her, womit jede dieser Furchen mehr oder weniger ausgefüllt war.

Bekanntlich reflectiren die Metalle gleichzeitig die beiden Gattungen von Strahlen, welche sie in entgegengesetztem Sinne polarisiren, so daß man bei der Untersuchung des von einem Metallspiegel reflectirten Lichtes mittelst eines Kalkspathprismas unter allen Neigungen zwei an Intensität nicht viel verschiedene Bilder erblickt. Die Oxyde und die Metallsalze reflectiren unter passender Neigung nur die polarisirten Strahlen einer Art. Hiernach hielt ich es für wahrscheinlich, daß die Firnißschicht, womit das Messing bedeckt ist, letzterem die Eigenschaft der Oxyde ertheilen, und ihm dagegen die Fähigkeit, die beiden in entgegengesetztem Sinne polarisirten Lichtbilder gleichzeitig zu reflectiren, nehmen müßte. Der Versuch hat mir indeß gezeigt, daß man auf dem gefirnißten Messing, ebenso wie auf dem reinen, stets zwei Bilder wahrnimmt: das eine erhält auf Kosten des

*) Nicht veröffentlichte Notiz, die zur Ergänzung eines Theils der Abhandlung über die Farben dünner Platten vom 18. Februar 1811, S. 27 bis 30 dient.

andern unter gewiſſen Umſtänden, deren Anführung hier überflüſſig ſein würde, eine ſchwache Orangefarbe.

Betrachtet man die Ringe unter verſchiedenen Neigungen, ſo ſieht man ſie verſchiedene Farben annehmen. Diejenigen z. B., welche grün ſind, wenn die Strahlen ſenkrecht auf die Oberfläche des Deckels fallen, werden tief purpur, wenn man ſie in ſehr ſchiefer Richtung anſieht.

Zerlegt man das Licht, woraus dieſe Ringe beſtehen, mittelſt eines Kalkſpathprismas unter faſt ſenkrechten Incidenzen, ſo erblickt man in allen Lagen des Prismas zwei Ringſyſteme, die faſt gleich lebhaft ſind, und in denen die Farben in derſelben Ordnung aufeinander folgen. In dem Maaße als die Strahlen, welche die Ringe bilden, ſich ſtärker gegen die Oberfläche des Deckels neigen, wird das eine der Syſteme allmälich ſchwächer, und verſchwindet endlich ganz, falls der Hauptſchnitt des Prismas zur Reflectionsebene ſenkrecht oder parallel iſt. Läßt man das Prisma in einer dieſer beiden Lagen und neigt den Deckel noch mehr gegen die Lichtſtrahlen, ſo erſcheint das Syſtem, welches zuvor verſchwunden war, von Neuem, jedoch mit dem äußerſt merkwürdigen Umſtande, daß die Farbe eines jeden Ringes des neuen Syſtemes zu der Farbe des entſprechenden Ringes in dem nicht verſchwundenen Syſteme complementär iſt. So war auf dem Deckel, deſſen ich mich bediente, der erſte Ring in jedem Syſteme grün, wenn die Lichtſtrahlen faſt ſenkrecht von der Oberfläche reflectirt wurden; unter der Incidenz dagegen, wo man nur ein Ringſyſtem erblickte, erſchien derjenige, den wir zuvor unterſucht hatten, ſchmutzig grün. In noch ſchieferer Richtung geſehen wird dieſer Ring tief purpurfarben, während der entſprechende Ring des andern Syſtems ziemlich lebhaft grün gefärbt erſcheint. Sonach durchläuft alſo das Ringſyſtem, welches nicht verſchwindet, dieſelben Farben, die es beim Unterſuchen mit bloßen Augen durchlief, und das andere Syſtem iſt dem erſten entweder gleich oder complementär gefärbt, oder unſichtbar.

Es intereſſirte mich zu unterſuchen, ob die Farben, welche man auf Porcellanflächen bemerkt, auf die man Säuren gegoſſen hat, nicht ein dem zuvor beſchriebenen analoges Phänomen darbieten würden; und dies um ſo mehr, als dieſe Farben, ebenſo wie diejenigen, welche

das gefirnißte Meſſing zeigt, ſich mit der Neigung, bei welcher man ſie unterſucht, ändern. Ich habe ähnliche Reſultate erhalten.

Als ich eine Schicht Saſſafrasöl auf einem Metallſpiegel ausbreitete, bemerkte ich auf einigen Stellen ähnliche Farben wie diejenigen, welche die Seifenblaſen zeigen; ich unterſuchte dann, ob dieſe Farben bei dem Phänomene der Doppelbrechung ſich ebenſo verhalten, wie diejenigen, welche die gewöhnlichen farbigen Ringe bilden; es genügte dazu, ſie mittelſt eines Kalkſpathprismas unter verſchiedenen Neigungen zu betrachten. In ſenkrechter Richtung ſieht man dann zwei Bilder, die einander völlig gleich ſind oder aus denſelben Farben beſtehen; unter einem Winkel von ungefähr 35° verſchwindet das eine der beiden Bilder; noch ſchiefer ſieht man abermals zwei Bilder, die aber nicht mehr gleich ſind, ſondern die Farben des neu entſtandenen Bildes ſind zu den Farben, welche das erſte Bild behalten hat, complementär. Dieſe Erſcheinungen ſind denjenigen analog, welche die Farben des Firniſſes zeigen, womit die Mechaniker polirte Meſſingflächen überziehen.

Bei ganz bedecktem Himmel, d. h. bei einer Beleuchtung des Fernrohrdeckels mit nicht polariſirtem Lichte bemerkt man unter allen Neigungen ſehr lebhafte Ringe, deren Farben ſich mit der Stellung des Auges ändern, wie ich oben angegeben habe. Indeß habe ich ein Mittel gefunden, die Farbe eines beliebigen Ringes ſich ändern zu laſſen, ohne dabei den Winkel, unter welchem ich ſie prüfte, zu ändern. Es genügt dazu, den Schatten eines Körpers auf dieſen Ring fallen zu laſſen: war er grün bei ſtarker Beleuchtung, ſo erſcheint er roth im Schatten, und umgekehrt, ſieht er anfangs roth aus, ſo geht er in Grün über, wenn der Theil der Platte, auf welchem die Ringe ſich bilden, in den Schatten tritt. Dieſer Verſuch läßt ſich ſehr bequem ausführen, indem man auf den Spiegel ſucceſſive bald das Licht, welches durch die Glasſcheiben der Fenſter hindurchgeht, und bald die Schatten der Stäbe auffallen läßt.*)

*) Die Farbenänderung, wovon in dieſem Paragraphen die Rede iſt, läßt ſich ſehr leicht bei den Ringen, welche den Berührungspunkt einer Glaslinſe und eines Metallſpiegels umgeben, beobachten; der Uebergang erfolgt ſtets, wie bei dem

Unterſucht man die Ringe in ſehr ſchiefer Richtung mit einem Kalkſpathprisma, ſo ſieht man, wie wir bereits bemerkt haben, zwei complementär gefärbte Ringſyſteme. Jedes Syſtem zeigt nun, wenn alle übrigen Umſtände dieſelben bleiben, die plötzliche zuvor erwähnte Farbenänderung, wenn man den Schatten eines Körpers auf den Theil des Deckels, wo die Ringe ſich bilden, fallen läßt.

Beobachtungen über die Farben des geſtrichtten Meſſings.

Farben der Ringe in verſchiedenen Richtungen beim Betrachten mit bloßen Augen (bei Sonnenuntergang).

In der Richtung der Sonne	ſchwach roth.
Senkrecht darauf oder gegen Norden	dunkelgrün.
Nach Oſten, der Sonne entgegengeſetzt	ſchwach roth.
Nach Süden	dunkelgrün.

Beim Betrachten durch ein achromatiſirtes Kalkſpathprisma.

Weſt oder nach der Sonne zu	oberes Bild grün. unteres Bild roth.
Nord	oberes Bild grün. unteres Bild unmerklich.
Oſt	oberes Bild grün. unteres Bild roth.
Süd	oberes Bild grün. unteres Bild unmerklich.

Beobachtungen auf dem Fernrohrdeckel mit bloßen Augen (bedeckter Himmel).

In ſehr ſchiefer Richtung.

Nach Weſt oder nach der Sonne zu . . .	ſchmutzig grün, ins Blaue ziehend.
Nach Süden, ſenkrecht gegen die Richtung zur Sonne	lebhaft purpur.
Nach Oſten, der Sonne entgegengeſetzt . .	wie im Weſten.

Deckel, von einer beſtimmten Farbe zur complementären. Wenn der Schatten nur auf eine Hälfte der Ringe fällt, ſo wird man in der That bemerken, daß ein grüner Ring des im Schatten befindlichen Theiles gewiſſermaßen die Fortſetzung von einem rothen Ringe der anderen voll erleuchteten Hälfte bildet und umgekehrt.

Unter geringerer Schiefe (ungefähr 30°).

Nach Westen . . . . . grünlich gelb.
Nach Süden . . . . . vollständiges Verschwinden der Farben.
Nach Osten . . . . . grünlich gelb, wie im Westen.

Unter noch geringerer Schiefe.

Nach Westen . . . . . ziemlich lebhaft purpur.
Nach Süden . . . . . weniger lebhaft purpur als in der andern Richtung.
Im Osten . . . . . ziemlich lebhaft purpur, wie im Westen.

Vergleichende Beobachtungen mittelst eines Kalkspathprismas.

In sehr schiefer Richtung.

Nach Westen . . . . roth und grün; das purpurne Bild ist dasjenige, welches bei zwei Glaslinsen verschwindet.
Nach Süden . . . . blos das rothe Bild ist sichtbar.
Nach Osten . . . . man sieht gleichzeitig die rothen und die grünen Ringe, wie im Westen.

Unter einer geringern Schiefe.

Nach Westen . . . . das Bild, welches bei den Glaslinsen verschwindet, ist nicht sichtbar; das andere ist grünlich gelb, wie beim Betrachten mit bloßen Augen.
Nach Süden . . . . gar keine Ringe sichtbar.
Nach Osten . . . . wie im Westen.

Auf dem großen Messingdeckel sieht man mittelst eines Kalkspathrhomboeders zwei einander ähnliche Ringsysteme unter allen Neigungen, welche derjenigen vorhergehen, wo eines derselben verschwindet, mag der Deckel unmittelbar durch das Tageslicht erleuchtet werden, oder mag er, im Schatten eines undurchsichtigen Körpers befindlich, nur von der Seite her auffallende Lichtstrahlen empfangen können. So wird also ein bestimmter Ring, der mit bloßen Augen betrachtet roth erscheint, in den beiden durch ein Prisma gesehenen Systemen gleichfalls roth erscheinen, wenn der Deckel dem Lichte ausgesetzt wird. Da aber dieser Ring mit bloßen Augen gesehen grün erscheint, falls der Deckel im Schatten liegt, so wird er in dieser Lage gleichfalls zwei grüne Bilder liefern, wenn man ihn mit dem Kalkspathrhomboeder betrachtet. Unter einem Einfallswinkel von ungefähr 35° sieht man

ſowohl im Lichte als im Schatten nur ein Ringſyſtem. In dem einen der Fälle iſt die Farbe die complementäre von der andern.

Unter kleinern Incidenzen ſind, wie ich bereits angeführt habe, die Farben dieſer beiden Syſteme complementär, ſo daß einem rothen Ringe in dem einen Syſteme ein grüner in dem andern entſpricht und umgekehrt. Wenn man übrigens, und dieſer Umſtand iſt ſehr bemerkenswerth, ohne an den relativen Stellungen des Auges, des Deckels und des Kalkſpaths etwas zu ändern, den Schattten eines undurchſichtigen Körpers auf die Ringe fallen läßt, ſo wird man die Farben beider Syſteme ſich plötzlich ändern ſehen; iſt ein Ring bei ſtarkem Lichte in dem einen Syſteme roth und der entſprechende im andern Bilde grün, ſo wird der rothe in Grün, und der grüne in Roth übergehen, ſobald der Deckel in Schatten kommt.

III.

Unterſuchung der durch die Berührung eines Metallſpiegels und einer Linſe erzeugten Ringe.*)

Mittelſt einiger Schrauben habe ich eine Glasplatte gegen einen Metallſpiegel gepreßt; der Mittelpunkt der Ringe, welche den Berührungspunkt umgeben, iſt ſenkrecht geſehen weiß, ſchwach gelblich, während in ſehr ſchiefer Richtung dieſer Mittelpunkt von ſo dunkler Farbe erſcheint, daß man ihn würde für ſchwarz halten können. Unter dem Winkel von ungefähr 35° iſt das Licht, woraus die Ringe beſtehen, durch Reflexion polariſirt; geht man, während das Kalkſpathprisma in derſelben Lage bleibt, von der ſenkrechten Richtung bis zu einer Incidenz von 35°, ſo ſieht man ein und daſſelbe Bild allmälich ſchwächer werden; daſſelbe bleibt jedoch während aller dieſer Aenderungen dem Hauptbilde ähnlich. Ueberſchreitet man den Winkel von 35°, ſo ſieht man, ebenſo wie in den weniger ſchiefen Incidenzen zwei Bilder. Zwiſchen dieſen beiden Fällen iſt aber der Unterſchied, daß von 90 bis 35° beide Bilder aus derſelben Reihenfolge von Farben

*) Nicht veröffentlichte Notiz. Vergl. die Abhandlung vom 18. Februar 1811. S. 20.

bestehen, während unterhalb 35° die beiden Ringsysteme einander nicht mehr ähnlich sind. Man muß auch bemerken, daß das Bild, welches allmälich schwächer wurde, je mehr man sich dem Winkel von 35° näherte, auf Kosten des andern wächst, wenn man diese Neigung überschritten hat, und dasselbe bald an Intensität übertrifft. Es hat mir selbst geschienen, als ob jenes erste Bild gänzlich verschwinde, wenn die Lichtstrahlen mit der Fläche des Spiegels einen sehr spitzen Winkel machen. Wäre dies Verschwinden vollständig, so würde daraus hervorgehen, daß zwischen 90° und 35° das Licht der Ringe nur partiell durch Reflexion polarisirt ist; daß die Polarisation unter der Incidenz von 35° vollständig ist, und daß endlich in dem Maaße, als die Neigung geringer wird, einige Strahlen sich durch Brechung polarisiren, dergestalt, daß unter einer sehr schiefen Incidenz die Lichtstrahlen, welche die Ringe bilden, sämmtlich diese letzte Art von Modification erlitten haben würden.

Während ich diese Beobachtungen machte, waren die Farben der Ringe nicht lebhaft genug, um zu erkennen, ob unter kleinern Incidenzen als 35° die Farben der beiden Systeme complementär sind. Dagegen konnte ich mit Sicherheit wahrnehmen, daß wenn der Mittelpunkt des einen Systems schwärzlich ist, der andere weißlich erscheint u. s. w.

Beim öftern Wiederholen der Beobachtungen habe ich einige Eigenthümlichkeiten bemerkt, welche den Resultaten eine größere Präcision geben und folglich sicherer zu der Erklärung der Erscheinungen führen können.

Es ist, wie ich oben gesagt habe, sehr richtig, daß von der senkrechten Incidenz an bis zu einem Winkel von 35° die beiden mittelst eines Kalkspathrhomboeders auf einer metallischen Fläche wahrnehmbaren Ringsysteme mit Ausnahme des Intensitätsunterschiedes einander völlig ähnlich sind. Ueberschreitet man diese Neigung, so gleichen sich jene beiden Bilder nicht mehr: dasjenige, welches zuvor verschwunden war, erscheint von Neuem und wächst an Stärke, während das andere Bild allmälich schwächer wird und zwar dergestalt, daß man nur sehr schwache Spuren sieht, wenn die Gesichtslinie gegen die Trennungsfläche des Metallspiegels und der Glaslinse stark geneigt ist.

Die Breiten der entsprechenden Ringe in beiden Systemen sind nicht dieselben; ich habe ferner zu erkennen geglaubt, daß ihre Durchmesser ungleich sind.

Ich hatte die beiden Spiegel ziemlich stark zusammen gepreßt, um in der Mitte die schwarze Farbe zu erblicken, die ein sicheres Zeichen eines sehr hohen Grades von Annäherung ist. Diese Farbe wurde um so tiefer, je schiefer ich blickte, und dehnte sich auch ebenso wie die Ringe beträchtlich aus. Als ich diese Ringe mittelst eines doppeltbrechenden Prismas unter einem sehr schiefen Winkel untersuchte, theilte sich der schwarze Flecken ungleich unter die beiden Bilder: derjenige, welcher nicht verschwand, war in der Mitte schwarz und von einem weißen Kreise umgeben, während in dem andern Systeme das gemeinschaftliche Centrum weiß und von einem ziemlich tief schwarzen Streifen umgeben war. Hiernach scheint es, als ob das erste Bild größtentheils durch die reflectirten Ringe entstehen muß, und daß die in das zweite übergehenden Strahlen diejenigen sind, welche bei zwei auf einander gelegten Glasplatten die durchgelassenen Ringe hervorgebracht haben würden, und hier auf irgend eine Weise von der Metallfläche zurückgeworfen worden sind. Vielleicht wird das neue Ringsystem, woraus das zweite Bild besteht, auf Kosten des Theiles des einfallenden Lichtes gebildet, der bei seinem ersten Durchgange durch das dünne Blättchen nicht zerlegt worden ist, und der, in dem er nach seiner Reflexion vom Metallspiegel auf dem Wege zur Glaslinse durch die dünne eingeschaltete Luftschicht hindurchgeht, die durchgelassenen Ringe erzeugt.

Bisweilen habe ich, anstatt die Glaslinse gegen den Metallspiegel so weit anzupressen, daß in der Mitte ein schwarzer Flecken entstand, mich begnügt, sie einfach auf einander zu legen. Dann zeigte der gemeinschaftliche Mittelpunkt je nach den Neigungen, unter welchen man ihn betrachtete, verschiedene Farben. In diesem Falle nun sind, ebenso wie in dem vorhergehenden, die beiden Bilder unter allen Neigungen, welche dem Verschwinden des einen Systemes vorhergehen, einander ähnlich, während darüber hinaus die Farben der einander (in Größe) entsprechenden Ringe complementär erscheinen.

Diese Eigenthümlichkeit erkennt man sehr leicht beim aufmerksamen Betrachten der Farben im Mittelpunkte der beiden Systeme, wo

die Erſcheinung ſehr entſchieden auftritt, und von jeder Meſſung des Durchmeſſers der verſchiedenen Ringe unabhängig iſt.

IV.

Beobachtung der durch die Berührung einer Linſe und eines dicken Planglaſes erzeugten Ringe.*)

Gegen die Fläche eines dicken Planglaſes preßte ich die in den Verſuchen mit dem Metallſpiegel benutzte Linſe ſtark an, und erhielt auf dieſe Weiſe farbige Ringe, deren Mittelpunkt ſchwärzlich war. Bei der Unterſuchung mit einem Kalkſpathprisma gaben dieſe Ringe ſtets zwei ſowohl in Bezug auf die Größe der verſchiedenen Ringe, als auch in Bezug auf die aufeinanderfolgenden Farben völlig gleiche Bilder. Die Intenſität des einen Bildes wird von 90° bis 35° immer ſchwächer, und verſchwindet unter dem letzten Winkel vollſtändig. Ueber dieſen Winkel hinaus beginnt es von Neuem ſichtbar zu werden, und wächſt allmälich an Stärke; unter einer ſehr ſchiefen Incidenz endlich ſcheint es etwas heller zu ſein, als das andere Bild, welches nicht verſchwindet.

V.

Farbenänderung in den farbigen Ringen durch Vorſetzen eines undurchſichtigen Körpers.**)

Ich habe bereits kurz die Urſache der plötzlichen Farbenänderung angezeigt, welche das Vorſetzen eines undurchſichtigen Körpers in den farbigen Ringen veranlaßt. Die folgende Beobachtung ſcheint mir geeignet, die Frage aufzuklären.

Wenn man eine Glaslinſe auf einen vollkommen polirten Metallſpiegel legt, ſo wird man nur farbige Ringe um den Berührungspunkt erblicken, wenn das Auge ſich in der Richtung der vom Spiegel regelmäßig reflectirten Strahlen befindet; iſt aber der Spiegel leicht

*) Nicht veröffentlichte Notiz.
**) Nicht veröffentlichte Notiz.

gestreift oder etwas matt, so wird man auch Ringe sehen, wenn das Auge in der Richtung des von einem undurchsichtigen Körper auf den Spiegel geworfenen Schattens liegt, und diese Ringe werden durch das von dem Spiegel unregelmäßig zerstreute Licht gebildet werden; auch sind ihre Farben complementär zu der Farbe der im directen Lichte sichtbaren Ringe.

Wenn der Schatten eines vorgestellten undurchsichtigen Körpers nur die Hälfte der Ringe bedeckt, so bemerkt man, daß ein rother Ring des vom directen Lichte beleuchteten Theiles sich im Schatten an einen grünen Ringtheil, der seinen Umkreis vervollständigt, anschließt; und ebenso umgekehrt, daß der Theil, welcher im beleuchteten Felde gewissermaßen die Fortsetzung eines rothen Ringes im Schatten bildet, grün ist. Es scheint, daß man bei diesem Beobachtungsverfahren gleichzeitig die reflectirten Ringe, welche durch die regelmäßige Reflexion des Lichtes auf der ersten Oberfläche der dünnen Luftschicht entstehen, und die durchgelassenen Ringe sieht, welche bei ihrem Durchgange durch die Luftschicht jene Lichtstrahlen erzeugen, die von den gestreiften oder matten Stellen des Spiegels nach dem Auge zurückgeworfen werden.

Die Tagebücher über meine Versuche enthalten unter dem Datum des 10. Januars 1811 die folgende Beobachtung: „Ich legte vor einem Fenster eine einfache Glaslinse auf einen metallischen Planspiegel, und sah unmittelbar ein System concentrischer farbiger Ringe. Die Glaslinse drückte nur mit ihrem eigenen Gewichte auf den Spiegel. Ich gebe weder die Farbe des Mittelpunktes der Ringe, noch auch die Ordnung, in welcher die Farben in den Ringen selbst auf einander folgten, an, weil beide gleichzeitig sich mit der Neigung der Gesichtlinie änderten. Uebrigens habe ich stets blos ein Ringsystem wahrnehmen können, unter welchem Winkel ich auch die Glaslinse betrachten mochte.

„Darauf legte ich auf die Oberfläche derselben einen hölzernen Spatel von ungefähr 27^{mm} Breite, und bemerkte vier deutliche Schatten, deren Schwärze um so beträchtlicher war, je weiter man sie von ihrer Spitze betrachtete. Ich führte den ersten oder den schwächsten dieser Schatten auf die erste Ringreihe, und sah dann sehr deutlich zwei neue Reihen sich auf die folgenden Schatten projiciren; die Farben der auf

einanderfolgenden Ringe und ihrer Mittelpunkte erschienen unter allen Neigungen genau in derselben Reihenfolge. Was die Größen der Ringe betrifft, so kam es mir vor, als ob die Ringe der Hauptreihe etwas größere Dimensionen hätten; da aber der Unterschied, wenn er überhaupt existirt, nur äußerst klein sein kann, und die Größe der Ringe von mir nur nach dem Augenmaaße beurtheilt wurde, so ist das letztere Resultat zweifelhaft.

„Durch mehrere seitwärts auf die Linse gelegte Bücher vermehrte ich ihren Druck auf den Spiegel soweit, daß im gemeinschaftlichen Mittelpunkte der Ringe einige Spuren des schwarzen Fleckens sichtbar zu werden begannen. Unter diesen Umständen erblickte man, ebenso wie in dem vorhergehenden Versuche, mittelst des Schattens des Spatels drei getrennte farbige Ringsysteme. Einige von den Ringen des zweiten Systemes schnitten die Ringe des ersten; der Flecken und die Farben zeigten dieselbe Reihenfolge, und ich konnte ferner noch wahrnehmen, daß die in der Gestalt der farbigen Ringe durch Unregelmäßigkeiten im Glase hervorgerufenen Mängel sich in allen Reihen auf den entsprechenden Ringen wiederholten.

„Ich untersuchte die farbigen Ringe mittelst eines achromatisirten Kalkspathprismas, um zu sehen, ob das Licht, welches sie bildete, die Doppelbrechung erlitt. Auf diese Weise fand ich, daß bei Incidenzen, welche der senkrechten sich nähern, die beiden vom Prisma erzeugten Bilder fast von gleicher Intensität waren, welches auch die Lage des Hauptschnittes in Bezug auf den einfallenden Strahl sein mochte. In dem Maaße aber, als sich die Neigung verminderte, wurden die durch die regelmäßige und unregelmäßige Brechung entstehenden Bilder je nach der Lage des Hauptschnittes gegen den einfallenden Strahl mehr oder weniger leuchtend; endlich gibt es eine einzige Lage, für welche diese Bilder successive bei jeder Vierteldrehung des Prismas verschwinden. Sehr schiefe Incidenzen besitzen rücksichtlich der Lichtintensität der beiden Bilder dieselben Eigenschaften, wie die der senkrechten Richtung nahe kommenden.“

VI.

Einfluß verſchiedener Flüſſigkeiten auf die farbigen Ringe.*)

Ich ſtellte vor ein Fenſter den Metallſpiegel nebſt der Glaslinſe, preßte beide, um die Ringe hervor zu rufen, heftig gegeneinander, und ſtellte dann ein Bergkryſtallprisma in der Lage auf, bei welcher das eine Ringſyſtem verſchwindet. Als ich den Rand der Linſe benetzte, ſah ich das Waſſer ſich allmälich den Ringen nähern und dieſelben ſelbſt ganz erreichen, was die von Newton in ſeiner Optik erwähnte Zuſammenziehung ihrer Umfänge zur Folge hatte. Obgleich nun der Einfallswinkel ſtets derſelbe blieb, als zuvor, erblickte ich doch mit dem Prisma zwei Ringſyſteme, während nur ein einziges ſichtbar war, als die Zerlegung der Strahlen in einer Luftſchicht ſtattfand. Um jetzt auf der Waſſerſchicht nur ein Ringſyſtem zu ſehen, mußte man ſie unter einem ſehr ſpitzen Winkel betrachten.

Dieſer Verſuch gab dieſelben Reſultate, als ich anſtatt Waſſer ſehr rectificirten Weingeiſt zwiſchen die beiden Spiegel brachte.

VII.

Ueber die Urſachen der farbigen Ringe.

Nach dem Undulationsſyſteme entſtehen die durchgelaſſenen Ringe durch zweimal im Innern des dünnen Blättchens reflectirtes Licht, während die reflectirten Ringe aus dem Zuſammentreffen der an der erſten und an der zweiten Fläche des Blättchens reflectirten Wellen hervorgehen.

Es ſei der Einfallswinkel von der Oberfläche des Blättchens aus gezählt 70^0, und die Intenſität des Lichtes $i = 10000$: ſo wird die erſte Fläche 250 oder $\frac{i}{40}$, und die zweite Fläche $\frac{1}{40}\left[i\left(1-\frac{1}{40}\right)\right] = \frac{i}{40}-\frac{i}{1600}$, alſo ungefähr 244 Strahlen reflectiren.

*) Nicht veröffentlichte Notiz.

In den Punkten, wo beide Wellenbewegungen völlig einander entgegengeſetzt ſind, wird alſo das Schwarz faſt vollſtändig ſein; daneben an den Punkten, wo die Wellen in ihrem Gange übereinſtimmen, wird hingegen die Intenſität des Lichtes durch 250+244=494 dargeſtellt werden.

Betrachten wir jetzt die durchgelaſſenen Ringe. 244 Strahlen werden an der zweiten Fläche des Blättchens reflectirt; dieſe Strahlen erleiden bei ihrem Zurückkommen auf die erſte Fläche eine Reflexion, welche $\frac{244}{40}=6{,}1$ zurückwirft. Vernachläſſigen wir nun die ſehr ſchwache Reflexion, welche die 6,1 Strahlen beim Durchgange durch die zweite Fläche des Blättchens erleiden, ſo werden wir finden, daß die durchgelaſſenen Ringe durch das Zuſammentreffen zweier Wellen entſtehen, von denen die eine die Intenſität 6,1 und die andere, welche direct durch die beiden Flächen hindurch gegangen iſt, die Intenſität 9506 beſitzt.

Nimmt man alſo, was anfänglich ziemlich naturgemäß erſcheinen dürfte, an, daß die Intenſität der Farben in einem beliebigen der Ringſyſteme der Intenſität der ſchwächſten der zu ihrer Bildung beitragenden Wellen proportional wäre, ſo würden die unter einer Neigung von 70° durchgelaſſenen Ringe durch 6 dargeſtellt, während die reflectirten gleich 244 wären. Die erſtern würden alſo eine Intenſität beſitzen, welche nur $^1/_{40}$ von der Intenſität der letztern betrüge; was nicht annehmbar iſt.

Unter dem Winkel der vollſtändigen Polariſation ſteht nach dem Brewſter'ſchen Geſetze*) der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen ſenkrecht. Es wird folglich ein Lichtſtrahl, welcher auf eine Flußſpathplatte unter dem Winkel der vollſtändigen Polariſation von 54° 50′ gegen die Normale einfällt, auf der zweiten Fläche einen Winkel von 35° 10″ machen; auf einer Platte von Crownglas wird er mit der Normale auf der erſten Fläche einen Winkel von 55°, und auf der zweiten einen Winkel von 35° machen. Beim Spießglanzglaſe würde der Winkel auf der erſten Fläche 64° 45′, und auf der zweiten

*) Vergl. den Aufſatz über Polariſation im 7. Bande der ſämmtl. Werke.

25° 15′; beim Demant auf der erſten Fläche 68° 2′, und auf der zweiten 21° 58′ betragen.

Daraus folgt, daß wenn die Ringe, wie man nach der Wellentheorie annimmt, durch das Zuſammentreffen der von der erſten und zweiten Fläche des dünnen Blättchens reflectirten Schwingungen erzeugt werden, diejenigen, welche zwiſchen einer untern Crownglas- oder Flußſpathplatte, und einer obern Platte von Spießglanzglas oder Demant entſtehen, unter zwei verſchiedenen Winkeln polariſirt ſind, nämlich:

Ein erſtes Mal, wenn der Strahl mit der erſten Fläche des Apparats einen Winkel von 35° macht, weil dann dieſer Strahl nach ſeinem Austritte aus der Platte des Spießglanzglaſes mit der Fläche des Crownglaſes noch einen Winkel von 35° macht, welcher für Crownglas den Winkel der vollſtändigen Polariſation bildet.

Und ein zweites Mal, wenn die Neigung des Strahls 25° beträgt, weil dann der weiter gehende Strahl die zweite Fläche des Spießglanzglaſes unter einer Neigung von 65° trifft, welche ebenfalls faſt dem Winkel der vollſtändigen Polariſation entſpricht.

VIII.

Iriſirende Farben verſchiedener Körper.*)

Ich habe den zuvor beſchriebenen Prüfungen die Farben unterworfen, die man auf manchen Kryſtallen des Eiſenglanzes von der Inſel Elba, auf einigen Flächen des Bleiglanzes, auf Kupferkies, auf dem in verſchiedenem Grade angelaſſenen Stahle, auf Steinkohle u. ſ. w. wahrnimmt, und will jetzt kurz die Reſultate einiger meiner Verſuche berichten.

Mittelſt eines achromatiſirten Kalkſpathprismas unterſuche ich unter einem ſehr ſpitzen Winkel ein Stück Steinkohle, auf deſſen einer Fläche die Farben in ſchmale und concentriſche Streifen angeordnet ſind. Ich finde, daß wenn der Hauptſchnitt des Prismas parallel oder ſenk-

*) Nicht veröffentlichte, auf Seite 35 der Abhandlung über die Farben dünner Blättchen bezügliche Notiz.

recht zur Reflexionsebene liegt, die beiden Bilder in den entsprechenden Theilen complementär gefärbt sind. Sonach wiederholt sich also ein rother Theil des Hauptbildes mit grüner Farbe im zweiten Bilde, und umgekehrt entspricht ein rother Streifen des zweiten Bildes einem grünen Streifen im ersten.

Die Farben sind selbst unter sehr schiefen Neigungen allgemein im ersten Bilde lebhafter als im zweiten.

Wenn man, nachdem man bei einer Neigung angelangt ist, wo die beiden Bilder complementär sind, dem Prisma eine kleine Drehung ertheilt, und dadurch die Lage des Hauptschnittes etwas ändert, so gehen einige Strahen aus dem ersten Bilde in das zweite, und eine entsprechende Lichtmenge aus dem zweiten in das erste Bild über; da aber die Intensität des zweiten Bildes geringer war, als die des ersten, so folgt daraus, daß das Licht, welches letzteres ihm liefert, bald die complementären Strahlen, welche das zweite behielt, neutralisirt, wodurch dann dieses zweite Bild vollkommen weiß erscheint.

Ueberschreitet man diese Lage, so gleichen die beiden Bilder in den Farben, welche sie zeigen, einander vollkommen, und nach einer Viertelbrehung des Prismas haben die Bilder gewissermaßen ihre Rolle vertauscht.

Die im Vorstehenden berichteten Versuche wurden unter sehr schiefen Neigungen ausgeführt. Wenn man aber das Prisma stets in derselben Lage läßt, und die Kohle unter immer weniger schiefen Winkeln untersucht, so kommt man bald auf eine Lage, wo das erste Bild allein gefärbt ist. Indeß existirt zwischen diesem Verschwinden der Farben im zweiten Bilde, und demjenigen, das ich kurz zuvor beschrieben habe, der Unterschied, daß das jetzige Verschwinden davon abhängt, daß das ganze Licht in das Hauptbild geht, während in dem andern Falle die beiden Theile des Lichtes, woraus jenes Bild bestand, sich vollständig in Farbe und Menge entsprachen und Weiß erzeugten.

Da die natürlichen Farben, welche man auf manchen Stücken Steinkohle wahrnimmt, sich bei dem Phänomene der Doppelbrechung wie wir so eben gesehen haben, gerade wie diejenigen verhalten, welche auf metallischen Substanzen entstehen, so war es natürlich, daß ich zu

ermitteln verſuchte, ob dieſe Analogie auch bei den andern künſtlich gebildeten Ringen vorhanden wäre.

Auf ein Stück polirte Steinkohle legte ich eine Glaslinſe, wodurch ein Syſtem von Ringen entſtand, deren Farbe im Mittelpunkte mit dem Drucke ſich änderte.

Ich unterſuchte dieſe Ringe mit einem Kalkſpathprisma, deſſen Hauptſchnitt zur Reflexionsebene ſenkrecht lag, und fand ſo, daß von der ſenkrechten Richtung ausgehend bis zu einer von mir nicht genau beſtimmten Neigung, bei welcher eines der Bilder vollkommen verſchwindet, die beiden Syſteme ſich nur durch ihre Intenſität von einander unterſcheiden; daß man bei geringeren Neigungen wiederum zwei Bilder bemerkt, welche eben ſo wie bei den größeren Incidenzen einander gleich ſind. Daraus folgt, daß bei dem beſchriebenen Phänomene die Steinkohle ſich wie das gewöhnliche Glas und nicht wie ein Metallſpiegel verhält.

Wenn der Mittelpunkt der Ringe ſchwarz iſt, ſo wird er bei beiden Bildern unter allen Neigungen ſchwarz ſein; iſt der Mittelpunkt weiß, ſo wird er gleichfalls in beiden Syſtemen weiß erſcheinen, wenn man zum Analyſiren ein Kalkſpathprisma benutzt.

Einige Mineralogen ſchreiben die Farben, welche man auf der Steinkohle wahrnimmt, ſehr dünnen Schichten von Schwefel zu. Ich ſelbſt hatte auf einem metalliſchen Glaſe, das wahrſcheinlich zufällig einen Anfang von Schmelzung erlitten hatte, Verſuche angeſtellt, welche mich glauben ließen, daß die Farbenänderung, die ich beſchrieben habe, in gleicher Weiſe eintreten müſſe, ſowohl wenn irgend eine ſehr dünne Subſtanz ſich auf einen Metallſpiegel abſetzt, als auch wenn eine ſehr dünne Metallſchicht auf einen andern Körper von einer beliebigen Beſchaffenheit ſich ablagert. Wenn die Färbung der Kohle vom Schwefel herrührte, d. h. wenn dieſe letztere Subſtanz bei den hier behandelten Vorgange ſich wie die Metalle verhielte, ſo würde man die Farbenänderung in den künſtlich auf einem beliebigen Schwefelſtücke erzeugten Ringen wahrnehmen müſſen.

Ich legte eine Glaslinſe auf eine ziemlich gut polirte Schwefelplatte, und erhielt dadurch ein Syſtem ſehr hervortretender Ringe. Als ich nun das Licht dieſer Ringe mittelſt eines Kalkſpathprismas

unterſuchte, ſo ergab ſich, daß die beiden Bilder einander ähnlich ſind, ſowohl bei den Incidenzen, welche dem Verſchwinden des einen Syſtems vorher gehen, als auch bei den kleinern Neigungen.

IX.

Hiſtoriſche Bemerkungen über die farbigen Ringe.*)

Die Werke von Boyle enthalten die erſten beſtimmten Notizen, welche über die Farben ſehr dünner Körper veröffentlicht worden ſind. Dieſer Schriftſteller ſcheint beabſichtigt zu haben, den Chemikern durch ſeine Verſuche zu beweiſen, daß man die Körper, ohne ihre Beſtandtheile zu verändern, ſehr mannigfache Farben annehmen laſſen, oder nach Belieben farblos machen könne, und führt zu dieſem Zwecke die Blaſen an, welche aus allen weſentlichen Oelen, aus Terpentinöl z. B., aus rectificirtem Weingeiſt und aus Seifenwaſſer gebildet werden können. Boyle berichtet außerdem, daß er bisweilen Glasblaſen angetroffen hat, auf denen man dieſelben Farben wahrnahm, weil man ſie beim Blaſen ſehr dünn gemacht hatte; er bemerkt ferner, daß die Federn von einer beſtimmten Form und ein ſchwarzes Band, wenn ſie in paſſendem Abſtande zwiſchen das Auge und die Sonne gehalten werden, ſehr lebhafte Farben zeigen. (Prieſtley, Geſchichte der Optik, deutſche Ueberſetzung S. 122).

In ſeiner 1715 in London gedruckten Micrographia gibt Hooke auf S. 47. detaillirte Mittheilungen über die Farben, welche man auf dem ruſſiſchen Glimmer und auf andern dünnen Körpern erblickt.

Nach einigen Einzelheiten über die eigenthümliche Form des Glimmers erwähnt Hooke, daß man auf den Platten dieſer Subſtanz ſowohl mit freiem Auge als auch mit dem Mikroſkope ſehr merkliche Farben beobachtet. Mittelſt dieſes letzten Inſtrumentes erkannte er, daß die Farben in Ringe angeordnet ſind, die einen weißen Flecken umgeben; daß die Ringe kreisförmig oder unregelmäßig ausfallen, je nachdem der centrale Flecken ſelbſt mehr oder weniger ſcharf begrenzt iſt, und daß ihre reſpectiven Farben in derſelben Ordnung auf einander

*) Zuſatz zu der Abhandlung über die Farben dünner Blättchen S. 3.

folgen, wie beim Nebenregenbogen. Wenn man alſo von dem centralen Flecken in der Mitte beginnend, nach außen geht, ſo wird die Reihenfolge der Farben die folgende ſein: blau, purpur, ſcharlach, gelb, grün; blau, purpur, ſcharlach u. ſ. f. Hooke bemerkt bei dieſer Gelegenheit, daß er bisweilen Regenbogen beobachtet habe, welche von mehreren Reihen Irisfarben begleitet waren, die jenen von ihm beſchriebenen glichen. Dieſe Irisfarben ſind ungleich hell und ungleich breit; in dieſer letzten Beziehung iſt der Unterſchied ſehr groß, weil die dem Mittelpunkte nächſten vielleicht hundertmal breiter ſind, als die andern. Hooke weiſt ferner noch darauf hin, daß die Farben ſich bisweilen bis zum Mittelpunkte des ganzen Fleckens erſtrecken; daß dieſer Mittelpunkt dann mit einer einzigen ſehr lebhaften Farbe erſcheint; daß die andern Farben ihn in immer größern und größern Abſtänden umgeben, indem ſie ſich in dem Maaße zuſammendrängen, als ſie ſich dem Rande nähern; jedoch behalten ſie ſtets unter ſich dieſelbe Reihenfolge wie im Nebenregenbogen. Wenn alſo der Mittelpunkt blau iſt, ſo wird der erſte Ring purpurfarben, der zweite roth, der dritte gelb u. ſ. f. erſcheinen. Wenn die Mitte roth iſt, ſo wird ſie zunächſt umgeben ſein von Gelb, worauf Grün folgt, an welches ſich dann Blau anſchließt u. ſ. w. Dieſe Reihenfolge bleibt ſtets dieſelbe, welches auch die Farbe des centralen Fleckens ſein möge.

Drückt man eine Glimmerplatte mit dem Finger, ſo ſieht man die Farben ihren Ort ändern.

Spaltet man die Glimmerplatte ſehr ſorgfältig, ſo erhält man ziemlich große Stücke, welche eine einzige Farbe zeigen; die Unterſuchung mit dem Mikroſkope lehrt dann, daß ſie eine gleichförmige Dicke beſitzen. Legt man die Fragmente auf einander, ſo bemerkt man Farben, welche aus denjenigen zuſammengeſetzt ſind, die jedes von ihnen getrennt zeigte. So können möglicher Weiſe ſchwaches Gelb und Blau ein dunkles Roth hervorbringen.

Wenn man mit einer Nadel oder irgend einem ſcharfen Inſtrumente zwei der Blättchen, woraus eine Glimmerplatte beſteht, trennt und zwiſchen ſie irgend ein durchſichtiges Häutchen bringt, ſo bemerkt man verſchiedene farbige Linien oder Regenbogen.

Legt man zwei gut gereinigte Glaslinſen auf einander, und drückt

ſie mit dem Daumen und Zeigefinger ſtark zuſammen, ſo ſieht man, wenn dieſelben hinreichend genähert ſind, Irisfarben und farbige Linien, welche vollſtändig den auf den Glimmerblättchen wahrnehmbaren gleichen. Dieſe Farben ändern ihren Ort, wenn man die Linſen auf der einen Seite mehr als auf der andern drückt.

Wird irgend eine durchſichtige Flüſſigkeit zwiſchen die beiden Linſen gebracht, ſo ruft ſie dieſelbe Wirkung hervor, wie die Luft; jedoch mit dem Unterſchiede, daß die Farben um ſo lebhafter erſcheinen, je mehr die Brechungsexponenten der einſchließenden Medien und der dazwiſchen gebrachten Flüſſigkeit von einander abweichen.

Das vor der Lampe geblaſene Glas bildet bisweilen ſehr dünne Kugeln, auf welchen man ebenfalls Regenbogen bemerkt.

Hooke ſchreibt endlich derſelben Urſache die Farben zu, welche man auf gehärtetem Stahle u. ſ. w. wahrnimmt.

Wir haben im Vorſtehenden die Beobachtungen Boyle's und Hooke's in Betreff der auf dünnen Körpern erſcheinenden Farben kurz zuſammengeſtellt, und wollen jetzt aus Newton's Werke die Reſultate ausziehen, die ſich in den Schriften ſeiner Vorgänger nicht finden.

Newton ſcheint keine ſehr wichtigen Beobachtungen zu den von Boyle und Hooke ausgeführten hinzugefügt zu haben; dagegen hat er ſie alle mit größerer Genauigkeit erläutert.

Hooke hat geſehen, daß die Farbe ſich mit der Dicke der Körper ändert. Newton fügt hinzu, daß eben dieſelbe Farbe auf einer und derſelben dünnen Platte an den Punkten ſich wiederholt, wo ihre Dicke nach der Reihe der ungraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 gewachſen iſt. Er beſtimmt ſogar durch die Rechnung, bei welchen Dicken eines Luftblättchens zum erſten Male die ganze Reihe der prismatiſchen Farben entſteht.

Die ſcheinbare Unordnung, welche die Ringe in gewiſſen Abſtänden von ihrem gemeinſchaftlichen Mittelpunkte, ſowohl in Bezug auf ihre Zahl, als auch in der Reihenfolge ihrer Farben zeigen, rührt davon her, daß ihre Umfänge in einander greifen, wie ſich Newton beim Beleuchten der Glaslinſen mit homogenem Lichte überzeugt hat. (Hooke hatte ſchon bemerkt, daß die Ringe eine um ſo größere Breite beſitzen, je größer ihre Durchmeſſer ſind.)

Die Farben der Ringe ſind nach Hooke um ſo lebhafter, je mehr

die Brechungsexponenten der einſchließenden Medien und der dazwiſchen gebrachten Flüſſigkeit von einander abweichen. Indem Newton dieſe Beobachtung beſtätigt, fügt er noch hinzu, daß die Ringe einer gewiſſen Farbe um ſo kleiner ſind, je weniger die brechende Kraft der eingeſchalteten Flüſſigkeit von der brechenden Kraft der Medien, zwiſchen welchen ſie eingeſchloſſen iſt, abweicht. Newton meint ſogar, daß, wenn irgend eine Flüſſigkeit zwiſchen zwei Gläſer eingeſchloſſen wird, der Zwiſchenraum zwiſchen den zwei Gläſern an dem Orte, wo man eine gewiſſe Farbe bemerkt, zu dem Zwiſchenraume, welcher dieſelbe Farbe in einer Luftſchicht gibt, in dem Verhältniß der Sinus ſteht, durch welche die Brechung beim Uebergange aus demſelben Mittel in die Luft gemeſſen wird.

X.

Ueber die Complementärfarben.

Nach der Methode des Pater Schöffer (Journal de physique 1785) iſt die Farbe, welche aus allen Farben, weniger dem Violet hervorgeht, ein Grünlichgelb. Das Fehlen des Blaus und des Indigos ſoll ein dem Rothen ſehr naheſtehendes Orange hervorrufen; der Ausſchluß des Rothen und eines Theiles des Violeten gibt ein in das Blaue ziehendes Grün; nach Hinwegnahme des Gelben erhält man ein dem Violeten ſehr nahe ſtehendes Indigo; nach Fortlaſſung des Gelben und des Orange nähert ſich die reſultirende Farbe dem Indigo.

Hiernach iſt alſo die complementäre Farbe von

Roth	Grün, ins Gelbe ziehend;
Purpur	Grün, ins Blaue ziehend;
Gelb	Indigo, ſehr nahe dem Violeten;
Grün	Violet, mit Roth gemiſcht;
Blau und Indigo	Orange, ſehr nahe dem Rothen.

Die aus dem Phänomen der farbigen Ringe ſich ergebenden complementären Farben ſind nach Newtons Optik folgende:

Roth	Grünlichblau;
Gelb	Violet;
Purpur	Grün.

XI.

Ueber die Glimmerblättchen, welche ihre Kryſtalliſation verloren zu haben ſcheinen.*)

Man findet bisweilen Glimmerblättchen, welche gänzlich ihre Kryſtalliſation verloren zu haben ſcheinen, weil man nach dem von mir beſchriebenen Verfahren nicht die geringſte Spur von der Richtung der Axen ſieht, in welche Lage man auch die Blättchen bringen mag, vorausgeſetzt, daß ihre Ebene ſtets auf der Reflexionsebene ſenkrecht bleibt. Wenn man eine Glasplatte um einen polariſirten Lichtſtrahl dreht, ſo wird bekanntlich, von einer gewiſſen Lage aus gerechnet, bei jeder Viertelbrehung der Platte eine gewiſſe Anzahl von Strahlen depolariſirt; und es iſt dieſe Zahl um ſo beträchtlicher, je mehr der Winkel zwiſchen dem Strahle und dem Glaſe ſich 35° nähert, während die Platte keinen Strahl depolariſirt, falls der genannte Winkel ein rechter iſt. Wenn man an die Stelle des Glaſes ein ſeiner Kryſtalliſation beraubtes Glimmerblättchen ſetzt, ſo wird es ſich wie das Glas verhalten, jedoch mit dem Unterſchiede, daß die Menge des depolariſirten Lichtes in dieſem Falle viel beträchtlicher iſt, als in dem erſten. Bei Incidenzen, welche der ſenkrechten nahe liegen, iſt die Zahl der von der Glasplatte depolariſirten Strahlen ſo gering, daß man das zweite Bild kaum wahrnimmt; während daſſelbe dagegen äußerſt ſichtbar iſt, wenn man das Glimmerblättchen unter dieſelben Umſtände bringt. Beim Glaſe iſt das zweite Bild ſtets ſchwächer als das erſte; beim Glimmer aber ſcheint es dieſelbe Intenſität zu erreichen und zeigt ſich ſehr merklich gefärbt. Es ſcheint hiernach, daß es, damit ein Körper bei jeder Viertelumdrehung das Licht depolariſire, nicht nothwendig iſt, daß er Doppelbrechung beſitze, ſondern daß es genügt, daß er in ſeinem Innern ein in paſſender Weiſe angeordnetes Blättchen einſchließe.

XII.

Ueber die Farben des Gypſes.**)

Man lege ein hinreichend dünnes Gypsblättchen auf einen ſchwar-

*) Zuſatz zu S. 41 der Abhandlung über die farbige Polariſation.

**) Zuſatz zu S. 42 und 43 der Abhandlung über die farbige Polariſation.

zen Körper dergestalt, daß es das atmosphärische Licht reflectirt; so wird die Oberfläche des Blättchens merklich gefärbt erscheinen. Einige an einander grenzende oder nur wenig von einander entfernte Theile werden verschiedene Farben zeigen; jedoch wird man bemerken, daß diese verschiedenen Stücke im Allgemeinen durch selbst dem bloßen Auge wahrnehmbare Sprünge begrenzt sind. Man wird ebenfalls Farben im durchgelassenen Lichte wahrnehmen, mag das einfallende Licht zuvor polarisirt worden sein oder nicht, und diese Farben werden stets zu denjenigen, welche eben diese Theile des Blättchens im reflectirten Lichte zeigen, complementär sein. Diese Farben scheinen also von der Dicke des Blättchens abzuhängen, und vollständig denen analog zu sein, welche Newton in seiner Optik behandelt und durch seine berühmte Theorie der Anwandlungen zur leichtern Zurückwerfung und zum leichtern Durchgange erklärt hat. Ich lasse hier aber einige Umstände folgen, welche zeigen, daß das gegenwärtige Phänomen in mehreren Beziehungen sich von dem erstern unterscheidet.

Wenn man, ohne die Lage des Auges zu ändern, das Gypsblättchen in Drehung versetzt, so findet man bald eine Lage, wo die ganze Oberfläche des Blättchens vollständig ungefärbt ist. Läßt man von dieser Lage aus das Blättchen eine Umdrehung in seiner eignen Ebene machen, so wird man bei der Reflexion Lagen finden, die nach einander geben:

1) weiß, 2) grün, 3) roth, 4) weiß, 5) roth, 6) grün, 7) weiß, 8) grün, 9) roth, 10) weiß, 11) roth, 12) grün, 13) weiß in der Ordnung wie Figur 19 (Seite 303) zeigt.

Bei demselben Blättchen sieht man mit bloßem Auge im durchgelassenen Lichte folgende Farben: grau, roth, grün, grau, grün, roth, grau, roth, grün, grau, grün, roth, grau.

Man sieht daraus, daß bei derselben Beleuchtung die Farben im durchgelassenen und im reflectirten Lichte stets complementär sind. Uebrigens gibt es auf einem und demselben Blättchen an einander grenzende oder wenig von einander entfernte Theile, deren Farben verschieden sind. Diese Theile sind gewöhnlich durch selbst dem bloßen Auge wahrnehmbare Sprünge oder Ungleichheiten getrennt. Wie dem auch sein möge, die Farben der verschiedenen Theile eines und desselben Blätt-

chens verſchwinden alle gleichzeitig in denſelben Lagen des Blättchens, und zwar vier Mal während einer vollſtändigen Umdrehung.

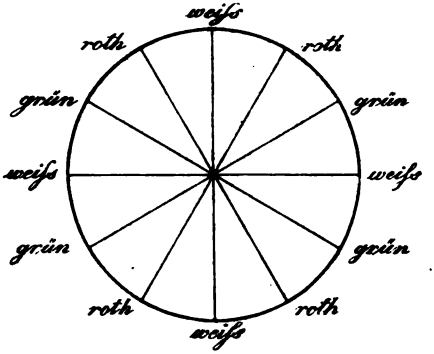


Fig. 29. — Aufeinanderfolge der Farben, die ein Gypsblättchen im reflectirten Lichte zeigt.

Bei dieſen Beobachtungen habe ich das Blättchen ſtets in ſehr ſchiefen Lagen beobachtet; denn bei wenig von der ſenkrechten Richtung entfernten Incidenzen bemerkt man kaum einige Spuren von Farben.

XIII.

Ueber die Wirkung der Körper auf das Licht.*)

Da die Farben, welche die beiden Bilder eines Rochon'ſchen Prismenfernrohres, vor welches ein Glimmerblättchen geſtellt worden iſt, darbieten, mit allen Metallſpiegeln, die ich unterſucht habe, in derſelben Ordnung erſcheinen, wie mit Glasſpiegeln: ſo folgt daraus, daß die Abſorption bei den Metallen vorzugsweiſe die Molecüle trifft, welche die durchſichtigen Körper hindurchlaſſen. Malus hat dies Reſultat zuerſt ausgeſprochen; da er aber nicht angegeben, auf welchem Wege er zu demſelben gelangt iſt, ſo habe ich die in meiner Abhandlung angeführten Einzelheiten nicht für überflüſſig gehalten. Man ſieht auch aus dem daſelbſt berichteten Verſuche, daß unſer Auge beſſer über einen Unterſchied in der Farbe, als über einen ſolchen in der Intenſität zu

*) Zuſatz zu S. 43 und 44 der Abhandlung über die farbige Polariſation.

urtheilen vermag; denn es fand ſich abſolut genommen ein größerer Unterſchied zwiſchen den beiden Bildern, wenn man ſie unmittelbar beobachtete, als wenn durch die Wirkung des Glimmerblättchens die verſchiedenfarbigen Molecüle, durch welche jener Unterſchied entſtand, in ungleicher Weiſe zwiſchen die beiden Bündel vertheilt worden waren.

Bei dieſer Veranlaſſung will ich in wenigen Worten eine Frage unterſuchen, die ſich gleichfalls auf die Wirkungsweiſe der Körper und des Lichtes bei den Polariſationsphänomenen bezieht. Obgleich wir uns über die Natur der Kräfte, welche den Strahlen jene eigenthümliche Modification einprägen, in völliger Unkenntniß befinden, ſo ſcheint es doch, als ob ſie mit denjenigen zuſammenhängen, welche die Brechung und Zurückwerfung hervorbringen, weil bei dieſen beiden Vorgängen die Strahlen entgegengeſetzte Modificationen erhalten. Das Phänomen der farbigen Ringe macht allein eine Ausnahme von dieſen Regeln, weil unter einem gewiſſen Winkel die Strahlen, welche die durchgelaſſenen Ringe erzeugen, ebenſo polariſirt ſind, als ob ſie reflectirt worden wären.

Allerdings hat man ſeit dem Erſcheinen von Malus' ſchönen Reſultaten über die durch Brechung polariſirten Strahlen dies Factum auf den allgemeinen Fall zurück zu führen geſucht, indem man annahm, daß das Verſchwinden eines der Bilder blos durch eine Aenderung in der Helligkeit des Grundes, auf welchen es ſich projicirt, veranlaßt werde; man kann ſich aber leicht überzeugen, daß dieſe Anſicht nicht begründet iſt; denn es würde daraus folgen, daß wenn man z. B. ein Bergkryſtallprisma anwendete, welches die beiden Ringſyſteme nicht vollſtändig trennte, das Verſchwinden eines der Syſteme, wenn man bei der Neigung angekommen iſt, bei welcher die Strahlen polariſirt ſind, ſtets auch das Verſchwinden des Theiles vom andern Syſteme, der ſich auf dieſelbe Stelle projicirt, nach ſich ziehen müßte; was den Beobachtungen widerſpricht. Wenn es aber hinreichend bewieſen iſt, daß unter einem gewiſſen Winkel geſehen, die durchgelaſſenen Ringe gerade ſo polariſirt ſind, als ob ſie reflectirt worden wären, ſo wird es kaum möglich ſein, dieſe Anomalie anders zu erklären, als durch die Annahme, daß die Strahlen, welche die farbigen Ringe gebildet haben, beſtimmt waren, reflectirt zu werden, und daß die vorwiegende Wirkung

der zweiten Linse sie hat durchgehen lassen; eine Annahme, die auch kaum genügen würde. Man müßte noch hinzufügen, daß unter einer beliebigen Incidenz die Ringe sich nur auf Kosten des Lichtes bilden, das ohne die Anwesenheit des zweiten Glases eine partielle Reflexion erlitten haben würde.

XIV.

Ueber die Phänomene, welche die Säulen aus Glasplatten zeigen.*)

Die Versuche über die farbige Polarisation, welche ich in meiner Abhandlung vom 11. August 1811 mitgetheilt habe, sind mit einer von parallelen Flächen begrenzten Bergkrystallplatte, die senkrecht auf die Axe des sechsseitigen Prismas geschnitten war, angestellt; es ergibt sich dies unmittelbar aus den Erscheinungen, welche die Platte darbietet, wenn bereits polarisirte Strahlen sie unter sehr spitzen Winkeln treffen. Diese Phänomene scheinen mir sehr geeignet, zu beweisen, daß in allen Krystallen materielle Blättchen existiren, welche von einander durch leere oder mit Luft oder irgend einer andern Flüssigkeit angefüllte Zwischenräume, die jedoch hinreichende Größe besitzen, um die Phänomene der partiellen Reflexion möglich zu machen, getrennt sind.

Gesetzt man habe einen durch Zurückwerfung in der Ebene des Meridians polarisirten Strahl, und es heiße Einfallsebene diejenige Ebene, welche den einfallenden und den zurückgeworfenen Strahl enthält. Durch die schönen Untersuchungen von Malus weiß man, daß wenn man eine Glasplatte in die Bahn dieses polarisirten Strahles in der Weise stellt, daß die Neigung ungefähr 35° beträgt, der Spiegel nicht ein einziges Lichtmolecül reflectirt, wenn die Einfallsebene auf der Ebene des Meridians, d. h. auf der ursprünglichen Polarisationsebene senkrecht steht. Wenn die Einfallsebene mit der Meridianebene parallel ist, so ist sowohl das Licht, welches der Spiegel zurückwirft, als auch dasjenige, welches er durchläßt, in der Ebene des Meridians polarisirt, während wenn die Einfallsebene eine intermediäre Lage zwischen den beiden genannten Lagen hat, der Spiegel stets in der Einfallsebene polarisirtes Licht zurückwirft und gleichzeitig Strahlen

*) Zusatz zu S. 70 der Abhandlung vom 14. December 1812.

durchläßt, von denen die einen in der Ebene des Meridians und die andern, in geringerer Zahl vorhandenen, in der Einfallsebene*) polarisirt sind. Daraus folgt, daß wenn man das durchgelassene Lichtbündel mit einem Kalkspathrhomboeder auffängt, dessen Hauptschnitt mit der Meridianebene parallel liegt, zwei Bilder entstehen, von denen das eine, das regelmäßige, aus dem gesammten durchgelassenen Lichte besteht, das in der Ebene des Meridians polarisirt ist, wozu noch ein mehr oder minder beträchtlicher Theil des in der Einfallsebene polarisirten Lichtes hinzukommt. Was nun den übrigen Theil dieses letzten Lichtes betrifft, so wird er wie man leicht einsieht, das unregelmäßige Bündel bilden, das folglich viel schwächer sein muß als das andere.

Wenn das durch den ersten Spiegel hindurch gegangene Bündel auf einen zweiten ähnlich gestellten Spiegel fällt, so wird eine neue Zerlegung des in der Ebene des Meridians polarisirten Lichtes eintreten; ein Theil desselben behält seine ursprüngliche Polarisation, während ein anderer, gleichfalls durchgelassener Theil in der Einfallsebene polarisirt wird. Daraus folgt, daß die Wirkung eines zweiten Spiegels die Intensität des unregelmäßigen Bündels, welches das Rhomboeder liefert, wenn sein Hauptschnitt mit der Meridianebene parallel ist, vermehren und umgekehrt die des regelmäßigen Bündels vermindern muß. Vermehrt man also in angemessener Weise die Zahl der auf einandergelegten Glasplatten, so kommt man bald auf einen Punkt, wo der Theil des in der Einfallsebene polarisirten Lichtes beträchtlich wird, und folglich bei seinem Durchgange durch ein Rhomboeder, dessen Hauptschnitt mit der Ebene des Meridians parallel liegt, ein sehr merkliches unregelmäßiges Bild liefern wird. Uebrigens hängt der Theil des Lichtes, welcher bei seinem Durchgange in der Einfallsebene polarisirt wird von demjenigen ab, welcher an der ersten Oberfläche des Spiegels reflectirt wird, so daß, um einem durchgelassenen Bündel, das in der Einfallsebene polarisirt ist, eine bestimmte Intensität zu geben, das Uebereinanderlegen einer um so beträchtlicheren Zahl von Platten erforderlich ist, je weniger Licht auf der oberen Fläche einer jeden reflectirt wird.

*) Der geringere Theil des durchgelassenen Lichtes ist nicht in der Einfallsebene, sondern senkrecht darauf polarisirt. Anmerkung d. d. Ausg.

XV.

Bericht an die Akademie der Wissenschaften, erstattet im Namen der Commission, die mit der Prüfung der Abhandlungen beauftragt war, welche die Akademie bezüglich der Preisaufgabe über die Beugung erhalten hatte.*)

Die Akademie hat als physikalische Preisaufgabe, worüber in der öffentlichen Sitzung des Monats März 1819 entschieden werden soll, die allgemeine Untersuchung der Beugungsphänomene des Lichtes aufgestellt. Es sind ihr nur zwei Abhandlungen eingereicht worden. Da die mit Nr. 2 bezeichnete sowohl durch die Genauigkeit der in ihr enthaltenen Beobachtungen als auch durch die Neuheit der Resultate in größerm Maaße die Aufmerksamkeit der Commissionsmitglieder auf sich gezogen hat, so haben wir geglaubt, einen umständlichen Bericht darüber vorlegen zu müssen.

Die Physiker, welche sich seit Grimaldi mit den Beugungsphänomenen beschäftigt haben, fingen das gebeugte Licht auf einem mehr oder weniger von dem dunklen Körper entfernten weißen Schirme oder auf einem matten Glase auf. Beide Methoden haben den Uebelstand, die Helligkeit der Farben beträchtlich zu schwächen, und eignen sich in keiner Weise zu dem Studium der Bildung der Streifen nahe bei ihrem Ursprunge. In einer 1815 der Akademie vorgelegten und später in dem 1. Bande der Annales de chimie et de physique gedruckten Abhandlung hatte Fresnel angegeben, daß man ohne Hülfe eines Schirmes in jedwedem Abstande die Streifen mit einer bloßen Loupe ganz eben so wahrnehmen könne, wie man mit dem Oculare eines astronomischen Fernrohrs das im Brennpunkte des Objectivs in der Luft erzeugte Bild wahrzunehmen vermöge. Von dieser Bemerkung ausgehend, hat der Verfasser der Abhandlung Nr. 2 ein Instrument construirt, welches die Beugungsstreifen in dem schwächsten Lichte zu verfolgen und ihre Breite

*) Es folgt hier der Bericht so wie er in der Sitzung der Akademie vom 15. März 1819 gelesen worden ist. Die Einzelheiten, deren Hinzufügung Arago für nöthig erachtet hat, finden sich weiterhin unter XVI, XVII, XVIII, XIX, u. XX.

bis auf ein oder zwei Hundertstel eines Millimeters zu bestimmen gestattet: es genügte dazu, die Loupe an einer Mikrometerschraube, welche dieselbe in einer auf die Streifen senkrechten Richtung verschiebt, anzubringen; ein feiner, im Brennpunkte der Loupe ausgespannter und mit ihr sich verschiebender Faden dient als Marke, die bei jedem Versuche auf die Mitte des hellsten oder dunkelsten Theiles eines jeden Streifens eingestellt wird; endlich erhält man mittelst eines in hundert Theile getheilten Kreises, auf welchem eine an der Schraube befestigte Nadel sich bewegt, die Hundertstel eines Millimeters.

So ist das Instrument beschaffen, dessen sich der Verfasser*) der Abhandlung Nr. 2 bedient hat. Seine hauptsächlichsten Versuche sind mit dem rothen, ziemlich homogenen Lichte angestellt worden, das eine gewisse gefärbte Glassorte, die man nur noch in einigen alten Kirchenfenstern antrifft, hindurchläßt; man war also sicher, jeden Tag mit Strahlen von derselben Beschaffenheit zu operiren und vollständig vergleichbare Resultate zu erzielen.

Der Verfasser beschäftigt sich zunächst mit den abwechselnd dunkeln und hellen Streifen, die äußerlich den Schatten eines dunkeln Körpers umsäumen; verfolgt man sie mittelst einer Linse von kurzer Brennweite bis zu ihrem Ursprunge, so bemerkt man den dritten Streifen in einem Abstande vom Rande des Körpers, welcher kleiner als $^1/_{100}{}^{mm}$ ist. Hierdurch allein beseitigt der Verfasser einen bisher geltend gewesenen Irrthum, und beweist, daß für alle Rechnungen in Bezug der Ablenkungen der Strahlen in dem Emmissionssysteme die Annahme gestattet ist, daß diese Strahlen von den Rändern der Körper selbst ausgehen.

Wählt man zunächst aus der Gesammtheit der Beobachtungen diejenigen aus, welche einem und demselben Abstande des Mikrometers von dem undurchsichtigen Körper entsprechen, so findet man, daß eine bloße Aenderung in der Entfernung des leuchtenden Punktes sehr merkliche Aenderungen in den Winkelablenkungen der Strahlen, oder mit

*) Als nach abgegebenem Gutachten der Commission der Präsident der Akademie den versiegelten Zettel, welcher der Abhandlung beigegeben war, öffnete, erfuhr man, daß Fresnel, Brücken- und Wegebauingenieur, der Verfasser derselben war.

andern Worten in den Winkeln, welche die directen und die gebeugten Strahlen mit einander machen, hervorruft. So ist z. B., wenn der Ausgangspunkt des Lichtbündels 100mm vom dunkeln Körper entfernt ist, der Beugungswinkel für die rothen Strahlen des ersten Streifens, in 1 Meter Abstand gemessen, 12′ 6″, während man nur 3′ 55″ in demselben Abstande eines Meters findet, sobald die Entfernung des leuchtenden Punktes vom Rande des Körpers 6 Meter beträgt. Kurz, man sieht, und dieses Resultat ist sehr merkwürdig, daß jeder Strahl um so weniger abgelenkt erscheint, aus je größerer Entfernung er herkommt.*)

Wenn man dann zu den Messungen übergeht, welche bei verschiedenen Abständen vom Körper, aber bei unverändertem Abstande des leuchtenden Punktes ausgeführt worden sind, so findet man für den Beugungswinkel jedes besondern Streifens verschiedene Werthe, je nachdem man ihn näher oder entfernter beobachtet. Daraus ergibt sich die eigenthümliche Folgerung, daß die successiven Lagen eines und desselben

*) Ich lasse hier einige andere der Abhandlung entnommene Messungen folgen, die gleichfalls zeigen, welchen bedeutenden Einfluß der Abstand des leuchtenden Punktes vom undurchsichtigen Körper auf die Ablenkung des Lichtstrahles ausübt. Man wird bemerken, daß der Abstand dieses Körpers vom Mikrometer fast in allen Versuchen genau derselbe, und zwar ungefähr 1 Meter gewesen ist.

Abstand des leuchtenden Punktes vom undurchsichtigen Körper.	Abstand des undurchsichtigen Körpers vom Mikrometer.	Intervall zwischen dem Rande des Kernschattens und der Mitte des vierten dunkeln Streifens.
0,510 Meter	1,005 Meter	3,84 Millimeter
1,011 „	0,996 „	3,12 „
2,008 „	0,999 „	2,71 „
3,018 „	1,003 „	2,56 „
6,007 „	0,999 „	2,40 „

Um dieses Resultat den bis jetzt fast allgemein über die Phänomene der Diffraction geltenden Vorstellungen gemäß zu erklären, würde man annehmen müssen, daß die abstoßende Wirkung, welche der undurchsichtige Körper auf das Licht ausübt, nicht nur von dem Abstande, in welchem das Lichtmolekül vorbeigeht, abhängt, sondern auch daß diese Wirkung sehr schnell abnimmt, je weiter sich der Körper von dem strahlenden Punkte entfernt; was, wie man zugeben muß, eine sehr seltsame Voraussetzung sein würde.

Streifens sich nicht auf einer graden Linie finden;*) es ist übrigens leicht, sich zu überzeugen, daß die Curven, welche jene Lagen verbinden, für die Streifen aller Ordnungen Hyperbeln sind, welche den leuchtenden Punkt und den Rand des undurchsichtigen Körpers zu gemeinschaftlichen Brennpunkten haben. In einigen von dem Verfasser mitgetheilten Versuchen betrug die Abweichung der Curve von der graden Linie fast 1^{mm}, d. h. war 50—60 mal größer, als die Fehler, welche bei den Beobachtungen vorkommen können.

Verschiedene Physiker haben schon ausgesprochen, daß die Beugungserscheinungen durchaus nicht von der Beschaffenheit des Körpers abhängen, an dessen Rändern die Lichtstrahlen vorbeigehen. Der Verfasser der Abhandlung bestätigt zunächst dies Resultat durch Messungen, in denen man keine Differenzen von $^1/_{100}{}^{mm}$ findet, und fügt dann die nicht weniger merkwürdige Thatsache hinzu, daß die Form des Körpers ebenfalls nicht den geringsten Einfluß hat; so daß z. B. die Beugungsstreifen genau dieselbe Helligkeit und Lage zeigen, mögen sie durch den Rücken oder durch die Schneide eines Rasirmessers erzeugt werden.**)

Wir haben bisher nur von den äußeren Streifen gesprochen; indeß

---

*) Während der undurchsichtige Körper stets 3,018 Meter vom leuchtenden Punkte abstand, maß der Verfasser der Abhandlung den zwischen dem Rande seines Kernschattens und der schwärzesten Stelle des dritten dunkeln Streifens liegenden Raum zuerst in 0,0017 Meter, dann in 1,003 und endlich in 3,995 Meter Abstand vom Körper. Jener Raum betrug im ersten Falle $0{,}08^{mm}$, im zweiten $2{,}20^{mm}$ und endlich im dritten $5{,}83^{mm}$. Verbindet man jetzt durch eine gerade Linie die erste und dritte Lage des Streifens, so sieht man leicht, daß die fragliche grade Linie in 1,003 Meter Abstand vom undurchsichtigen Körper um $1{,}52^{mm}$ von dem Kernschatten absteht, während die Beobachtung uns gelehrt hat, daß der dritte Streifen $0{,}86^{mm}$ weiter oder im Ganzen $2{,}20^{mm}$ entfernt war. Der Punkt, welcher in 1,003 Meter Abstand vom Körper sich auf der Graden befand, lag zwischen dem ersten und zweiten dunkeln Streifen. Man sehe übrigens den auf diesen Bericht folgenden Abschnitt XVI, wo ich andere Beobachtungen Fresnel's mitgetheilt habe, die bezüglich der Streifen der verschiedenen Ordnungen ebenfalls darthun, daß für eine gegebene Entfernung vom leuchtenden Punkte ihre successiven Lagen eine krumme Linie bilden, deren concave Seite gegen den dunkeln Körper gewandt ist.

**) Vergleiche den weiterhin folgenden Abschnitt XVII.

bringt das Licht auch in den Kernschatten ein, erhellt ihn, und bildet daselbst eine Reihe heller und dunkler Streifen. Dr. Thomas Young, einer der Correspondenten der Akademie hat vor einigen Jahren entdeckt, daß wenn man den einen der beiden Lichtbündel, welche die Ränder eines schmalen Körpers berühren, mit einem Schirme auffängt, sämmtliche innern Streifen verschwinden, obgleich das entgegengesetzte Bündel seinen Weg fortsetzt und sich grade wie zuvor in den Schatten verbreitet. Daraus folgt klar, daß die innern Streifen durch das Zusammentreffen jener beiden Lichtbündel entstehen. Young beweist übrigens diesen wechselseitigen Einfluß der Strahlen, welche sich durchkreuzen, ohne bei seinem Versuche die Kräfte zu Hülfe zu nehmen, denen man gewöhnlich die Beugungsphänomene zuschreibt.

Zu diesem Zwecke läßt er das Sonnenlicht durch zwei kleine, wenig von einander entfernte Oeffnungen in ein dunkles Zimmer fallen. Fängt man jedes Bündel gesondert auf einem Papiere auf, so bemerkt man nichts Auffälliges; erreichen aber beide Bündel dasselbe gleichzeitig und mischen sich miteinander, so erzeugt ihr Zusammentreffen eine Reihe dunkler und heller Streifen, welche den Streifen im Innern des Schattens gleichen.

Der Verfasser der Abhandlung legt einen ähnlichen Versuch vor, aus welchem eben diese Folgerung noch viel klarer sich ergibt, und der in der Ausführung vor dem so eben berichteten den wichtigen Vorzug besitzt, viel lebhaftere Farben zu geben. Er läßt zwei Lichtbündel zusammentreffen, welche von demselben Punkte ausgegangen sind und dann von zwei Metallspiegeln, die nur sehr wenig gegen einander geneigt sind, so daß ihre Oberflächen fast in dieselbe Ebene fallen, regelmäßig zurückgeworfen werden; sofort wird der beiden Lichtfeldern gemeinschaftliche Theil von hellen und dunkeln, gleichweit von einander abstehenden Streifen durchzogen, die auf der Verbindungslinie der beiden reflectirten Bilder senkrecht stehen, welches übrigens auch die Lage dieser Linie in Bezug auf die Ränder des Spiegels sein möge.

Die Längen der seitens der Lichtstrahlen von ihrem Ausgangspunkte bis zu ihrer Durchkreuzung durchlaufenen Wege bestimmen die Art des Einflusses, welchen diese Strahlen auf einander ausüben. Fängt man die beiden Bündel auf einem Schirme auf, so wird man

einen hellen Streifen an solchen Stellen wahrnehmen, wo zwei Strahlen genau denselben Weg zurückgelegt haben; wenn der nächste helle Streifen einem durch d dargestellten Wegeunterschiede entspricht, so wird der dritte, vierte, fünfte Streifen derselben Art auf dem Papiere an Punkten wahrgenommen werden, für welche die Wegeunterschiede 2 d, 3 d, 4 d u. s. w. sind. Dagegen werden die dunkeln Streifen Unterschieden entsprechen, die in der arithmetischen Reihe $^1/_2$ d, $^3/_2$ d, $^5/_2$ d u. s. w. enthalten sind. Ich füge hinzu, daß die Größe d für die verschiedenfarbigen Strahlen nicht dieselbe ist, sondern in demselben Verhältnisse, wie die Längen der Anwandlungen sich ändert. Für jede Gattung farbiger Strahlen ist diese Größe genau das Doppelte von derjenigen, welche nach Newton die Wiederkehr derselben Anwandlung zum leichtern Durchgange und zur leichtern Zurückwerfung bei einem Lichtmolecüle bestimmt.

Indem der Verfasser sich auf die so eben ausgesprochenen Principien, welche man dem Dr. Thomas Young verdankt, stützt, untersucht er zunächst, ob die innern Streifen nicht das Resultat aus der gegenseitigen Einwirkung zweier an denselben Rändern des undurchsichtigen Körpers in den Schatten gebeugter Strahlen sein könnten.

Nach dieser Hypothese müßten die inneren Streifen stets gleichweit von einander abstehen; ihre Breiten würden für gegebene Entfernungen im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser der Körper sich ändern, und von der Lage des leuchtenden Punktes unabhängig sein. (Annales de chimie et de physique Bd. 1, S. 261.) So lange als die äußersten Streifen hinlänglich von den Grenzen des Kernschattens abstehen, stimmen diese Verhältnisse ziemlich gut mit der Beobachtung überein; in den übrigen Fällen aber findet man einen gewissen Unterschied zwischen der berechneten und der beobachteten Lage jedes Streifens. So gering nun auch diese Abweichungen sein mögen, so überschreiten sie doch merklich die kleinen Unsicherheiten, womit die Beobachtungen des Verfassers behaftet sind.

Was aber die äußeren Streifen betrifft, so findet man, wenn man dieselben, wie es anfangs naturgemäß erscheint, als durch das Zusammentreffen des directen Lichtes mit den am Rande des undurchsichtigen Körpers reflectirten Strahlen gebildet annimmt, einen hellen Streifen

da, wo die Rechnung einen dunkeln gibt, und umgekehrt. Sollten die aus dem Verſuche mit zwei Spiegeln hergeleiteten Geſetze auf den jetzt unterſuchten Fall anwendbar ſein, ſo würde man alſo annehmen müſſen, daß die in ſchiefer Richtung auf dem Rande des dunkeln Körpers reflectirten Strahlen ſich ſo verhalten, als ob die durchlaufenen Wege um die Hälfte der zuvor mit d bezeichneten Größe kleiner wären, als ſie es in der That ſind.

Dies iſt die Vorausſetzung, auf welche Young und Fresnel die Erklärung der äußeren Streifen gegründet hatten; der Verfaſſer der Abhandlung beweiſt aber, daß ſie nicht ausreicht; und in der That weicht unter gewiſſen von ihm angegebenen Umſtänden der beobachtete Ort des Streifens von dem berechneten um $0{,}17^{mm}$ ab, d. h. um eine Größe, welche ſechs bis ſiebenmal beträchtlicher iſt, als die Unſicherheit der Beobachtungen. Er zeigt außerdem unabhängig von jeder Meſſung, daß wenn die äußern Streifen aus dem Zuſammentreffen des directen Lichtes und der blos vom Rande des undurchſichtigen Körpers reflectirten Strahlen entſtänden, die Ausdehnung und die Krümmung dieſes Randes auf ihre Intenſität einen gewiſſen Einfluß haben würden; was aber, wie bereits ausgeſprochen, der Erfahrung widerſpricht, weil Schneide und Rücken eines Raſirmeſſers vollkommen ähnliche Streifen erzeugen. Man muß alſo annehmen, daß Strahlen, die in merklichem Abſtande vom Körper vorbeigehen, aus ihrer urſprünglichen Richtung abgelenkt werden, und zur Entſtehung des Phänomens gleichfalls beitragen. Dies wichtige Reſultat wird übrigens durch mehrere andere in der Abhandlung angeführte Verſuche beſtätigt.*)

Wie kommt es jetzt, daß das ununterbrochene Bündel von merklicher Breite, das nahe an einem Körper vorbeigeht, anſtatt auf dem auffangenden Schirme eine gleichförmige Beleuchtung zu geben, eine Reihe heller durch dunkle Zwiſchenräume getrennter Streifen erzeugt? Die Grenzen, innerhalb welcher wir uns halten müſſen, geſtatten zwar nicht, dem Verfaſſer in dieſe ſchwierige Unterſuchung zu folgen; wir wollen indeß verſuchen eine klare Vorſtellung von der Hypotheſe zu

*) S. den weiterhin folgenden Abſchnitt XVIII.

geben, auf welche sich das Integral stützt, das er gleichsam als den allgemeinen Ausdruck aller Beugungsphänomene hinstellt.

Der Verfasser denkt sich durch die Ränder des undurchsichtigen Körpers ein Stück einer Kugeloberfläche gelegt, deren Centrum der strahlende Punkt ist, und nimmt an, daß von jedem Punkte dieser Oberfläche elementare Strahlen nach allen Richtungen und mit so gut wie gleichen Intensitäten, so lange sie sich wenig von der Normale entfernen, ausgehen; auf die sehr geneigten Strahlen nimmt er keine Rücksicht, weil sie nach seiner Hypothese sich wechselseitig aufheben; er bestimmt endlich die Intensität des aus dem Zusammentreffen und den wechselseitigen Einflüssen aller wenig gegen die Normale geneigten Strahlen resultirenden Lichtes, indem er die Strahlen mit Kräften vergleicht, welche unter sich den Differenzen der durchlaufenen Wege proportionale Winkel machen, wobei die bereits erwähnte Differenz d einem ganzen Umkreise entspricht.

Nach dieser Hypothese wird die Intensität des Lichtes in allen in Bezug auf den strahlenden Punkt hinter dem Körper gelegenen Stellen des Raumes vollständig durch ein Integral, welches jeden besondern Fall umfaßt, angegeben.

Wird diese Formel auf die äußern Streifen angewandt, so zeigt sie zunächst periodische Aenderungen der Intensität des Lichtes in der Nähe des Kernschattens; sie lehrt, daß in keinem Punkte das Licht vollständig Null ist; daß der Intensitätsunterschied zwischen einem hellen und dem benachbarten dunkeln Streifen stetig in dem Maaße abnimmt, als man sich von dem Körper entfernt, und daß er von der neunten oder zehnten Ordnung an bereits unmerklich ist; was mit den Beobachtungen übereinstimmt. Diese Formel gibt auch den Grund an, warum die äußern Streifen viel weniger zahlreich und lebhaft sind als diejenigen, welche aus dem Zusammentreffen der beiden Lichtbündel entstehen, die von einem und demselben Brennpunkte ausgehen und, wie in dem schon angeführten Versuche, von zwei schwach gegen einander geneigten Spiegeln reflectirt werden.

Das einzige unbestimmte Element, welches das Integral enthält, ist die von uns zuvor mit d bezeichnete Größe. Durch verschiedene Methoden findet der Verfasser, daß für das homogene rothe durch sein

farbiges Glas hindurch gegangene Licht der Werth von d gleich $^{44}/_{100000}{}^{mm}$ ist.*) Setzt man dann diesen Werth in die allgemeine Formel ein, so erhält man daraus leicht die Breite der Streifen für alle Lagen des leuchtenden Punktes und des Schirmes.

Der Verfasser hat in einer einzigen Tabelle die Resultate der Rechnung und die Ergebnisse von 25 Beobachtungsreihen, welche jede die Beobachtungen von 5 Streifenordnungen enthalten, (was zusammen die Summe von 125 Messungen gibt), vergleichend zusammengestellt; der Unterschied zwischen der Beobachtung und seiner Theorie steigt einmal bis 0,05, dreimal bis 0,03 und sechsmal bis $0{,}02^{mm}$. In den übrigen 115 Fällen geht die Abweichung niemals über $0{,}01^{mm}$, obgleich die gemessenen Größen bis 760 hundertstel Millimeter betragen. Wir setzen, um zu zeigen, wie verschieden bei allen diesen Beobachtungen die Umstände gewesen sind, noch hinzu, daß der Abstand des strahlenden Punktes vom dunkeln Körper sich von 0,1 bis 6 Meter, und der Abstand desselben Körpers vom Schirme von 0,002 bis 4 Meter geändert hat.

Die Streifen, welche durch eine enge Oeffnung erzeugt werden, diejenigen, welche man in dem Innern des Kernschattens eines undurchsichtigen Körpers wahrnimmt, entstehen und pflanzen sich nach denselben Gesetzen fort. Die in der Abhandlung verzeichneten Messungen werden durch die Formeln mit der Genauigkeit der Beobachtungen selbst dargestellt.

Ein Mitglied der Commission, Hr. Poisson, hatte aus den vom Verfasser angeführten Integralen das eigenthümliche Resultat hergeleitet, daß der Mittelpunkt des Schattens eines kreisförmigen undurchsichtigen Schirmes, wenn die Strahlen unter wenig schiefen Incidenzen dahin gelangten, ebenso hell erscheinen müßte, als wenn der Schirm nicht existirte. Diese Folgerung ist der Prüfung durch einen directen Versuch unterworfen worden, und die Beobachtung hat die Rechnung vollständig bestätigt.**) Alles läßt also glauben, daß die Formeln, welche den Ort der Maxima und Minima so genau gegeben haben, ebenfalls auch die relativen Intensitäten der Streifen mit gleicher Ge-

*) S. den spätern Abschnitt XIX.

**) S. den spätern Abschnitt XX.

nauigkeit darſtellen werden. Beobachtungen über dieſen letzten Punkt würden von großem Intereſſe ſein; wir geben zu, daß ſie ſehr ſchwierig ſind; indeß hat der ſcharfſinnige Phyſiker, über deſſen Arbeit wir ſoeben einen Ueberblick gegeben haben, ſchon zu große Fortſchritte auf dieſem Wege gemacht, als daß man nicht hoffen dürfte, er werde auch noch ſuchen, ſeine Theorie durch Intenſitätsmeſſungen zu beſtätigen.

Der Verfaſſer der mit Nr. 1 bezeichneten Abhandlung iſt ſicherlich ein geübter Phyſiker; indeß ſind die von ihm angewandten Beobachtungsverfahren nicht hinreichend genau, weshalb einige der Phänomene, welche das Licht beim Durchgange durch kleine Oeffnungen oder nur beim Vorübergehen an undurchſichtigen Körpern darbietet, ſeiner Aufmerkſamkeit entgangen ſind. Der Verfaſſer ſcheint weder die Arbeiten, welche man Dr. Thomas Young verdankt, noch die Abhandlung, welche Fresnel im Jahre 1816 in den Annales de chimie et de physique veröffentlicht hat, gekannt zu haben. Auch fügt derjenige Theil ſeiner Arbeit, welcher ſich auf den Einfluß bezieht, den die Lichtſtrahlen beim Zuſammentreffen auf einander ausüben oder auszuüben ſcheinen, dem bisher Bekannten Nichts hinzu, enthält ſogar mehrere offenbare Irrthümer. Hiernach hat die Commiſſion ſich entſchieden, der mit Nr. 2 bezeichneten Abhandlung, welche das Motto trägt Natura simplex et fecunda den Preis zuzuerkennen.

XVI.

Tabelle über die Bahnen der Streifen von verſchiedenen Ordnungen, bezogen auf die Sehnen, welche durch die beiden äußerſten Lagen dieſer Streifen gehen.*)

In dem vorſtehenden Berichte hat man geſehen, daß die Linien, welche die ſucceſſiven Lagen eines und deſſelben Streifens verbinden, keine graden ſind; die nachfolgende aus Fresnel's Abhandlung entlehnte Tabelle gibt für die Streifen der verſchiedenen Ordnungen den Abſtand zwiſchen den beobachteten und den berechteten Lagen an. Letz-

*) Vergl. oben S. 310.

tere ſind unter der Vorausſetzung berechnet, daß der Streifen ſtets auf derjenigen Graden liege, welche den Rand des undurchſichtigen Körpers und die weiteſte beobachtete Lage verbindet. Fresnel's Meſſungen beweiſen in der That, daß man in allen Fällen ohne merklichen Fehler annehmen darf, daß die Streifen vom Rande des Körpers ſelbſt ausgehen. Man wird übrigens bemerken, daß die Reſultate der vierten Verſuchsreihe (a) vollſtändig unabhängig von dieſer Hypotheſe ſind, und daß für dieſe Fälle die Sehnen, von denen aus die Abſtände der Curven gemeſſen worden ſind, von den in 1,7mm Abſtand vom undurchſichtigen Körper beobachteten Lagen der Streifen der verſchiedenen Ordnungen ausgehen. Es ſind in jeder einzelnen Gruppe diejenige Beobachtungen vereinigt worden, bei welchen der Abſtand des leuchtenden Punktes vom undurchſichtigen Körper unverändert derſelbe blieb.

Abſtand des leuchtenden Punktes v. dunkeln Körper.	Abſtand des dunkeln Körpers v. Mikromet.	Abſtände der Curven für die Streifen der verſchiedenen Ordnungen von den Sehnen. 1. Reihe.	2. Reihe.	3. Reihe.	4. Reihe.	5. Reihe.
Erſte Reihe.						
0,510m	0	0	0	0	0	0
	0,110m	0,19mm	0,29mm	0,35mm	0,40mm	0,44mm
	0,501	0,14	0,21	0,25	0,30	0,34
	1,005	0	0	0	0	0
Zweite Reihe.						
1,011m	0	0	0	0	0	0
	0,116m	0,23mm	0,35mm	0,42mm	0,49mm	0,55mm
	0,502	0,27	0,40	0,51	0,57	0,63
	0,996	0,21	0,30	0,38	0,42	0,49
	2,010	0	0	0	0	0
Dritte Reihe.						
2,008m	0	0	0	0	0	0
	0,118m	0,26mm	0,38mm	0,47mm	0,54mm	0,60mm
	0,999	0,34	0 48	0,60	0,68	0,76
	2,998	0	0	0	0	0

Abstand des leuchtenden Punktes v. dunkeln Körper.	Abstand des dunkeln Körpers v. Mikromet.	Abstände der Curven für die Streifen der verschiedenen Ordnungen von den Sehnen. 1. Reihe.	2. Reihe.	3. Reihe.	4. Reihe.	5. Reihe.

Vierte Reihe (a), bezogen auf die Sehne, welche die äußersten Beobachtungen verbindet.

3,018m	0,0017m	0	0	0	0	0
	0,253	0,30mm	0,45mm	0,56mm	,,	,,
	0,500	0,38	0,53	0,65	,,	,,
	1,003	0,38	0,56	0,68	,,	,,
	1,998	0,31	0,45	0,54	,,	,,
	3,002	0,17	0,23	0,28	,,	,,
	3,995	0	0	0	0	0

Vierte Reihe (b) bezogen auf die Sehne, welche vom Rande des undurchsichtigen Körpers ausgeht.

3,018m	0	0	0	0	0	0
	0,0017m	0,04mm	0,06mm	0,08mm	,,	,,
	0,253	0,34	0,50	0,63	0,73mm	0,83mm
	0,500	0,41	0,58	0,72	0,85	0,94
	1,003	0,41	0,60	0,74	0,87	0,97
	1,998	0,32	0,48	0,57	0,67	0,75
	3,002	0,18	0,25	0,30	0,38	0,39
	3,995	0	0	0	0	0

Fünfte Reihe.

4,507m	0	0	0	0	0	0
	0,131m	0,27mm	0,40mm	0,50mm	0,58mm	0,66mm
	1,018	0,32	0,48	0,59	0,71	0,81
	2,506	0	0	0	0	0

Sechste Reihe.

6,007m	0	0	0	0	0	0
	0,117m	0,23mm	0,33mm	0,42mm	0,49mm	0,53mm
	0,999	0	0	0	0	0

XVII.

Experimentelle Beweiſe, daß Beſchaffenheit und Geſtalt des dunkeln Körpers auf die Lage der Beugungsſtreifen keinen Einfluß ausüben.*)

Ich führe hier zwei von den Verſuchen an, die Fresnel mittheilt, um zu beweiſen, daß Beſchaffenheit und Geſtalt des Körpers auf die Lage der Beugungsſtreifen keinen Einfluß ausüben: „Ich bedeckte eine nichtbelegte Spiegelplatte mit einem dünnen Papierblättchen, das mit einer Schicht chineſiſcher Tuſche überzogen war, ſo daß Beides zuſammen eine Dicke von $^1/_{10}$ Millimeter bildete. Mit der Spitze eines ſcharfen Inſtrumentes zog ich zwei parallele Linien, und entfernte dann ſorgfältig den zwiſchen dieſen beiden Strichen gelegenen und der Oberfläche des Glaſes anhaftenden Theil des Papiers und der Tuſche. Mit dem Mikrometer gemeſſen betrug die Weite dieſer Oeffnung 1,17^{mm}. Sodann preßte ich zwei meſſingene Cylinder von 14,5^{mm} Durchmeſſer gegeneinander, und führte zwiſchen ſie eine eingetheilte keilförmige Platte ein, bis ich ſie um ebenfalls 1,17^{mm} von einander entfernt hatte. Dieſe neben das geſchwärzte Glas geſtellten Cylinder waren, ebenſo wie letzteres, 4,015 Meter vom leuchtenden Punkte, und 1,663 Meter vom Mikrometer entfernt. Ich maß die Breite der durch dieſe beiden Oeffnungen erzeugten Streifen, und fand ſie, wie man ſehen wird, einander vollkommen gleich. Dieſe Beobachtungen wurden mit weißem Lichte gemacht.

„Das Intervall zwiſchen den dunkelſten Punkten der beiden dunkeln Streifen der erſten Ordnung betrug an der Grenze des Rußbraun und des Violet:

„Bei dem Glaſe 1,49^{mm}, bei den Cylindern 1,49^{mm}.

„Das Intervall zwiſchen den Grenzen der beiden Streifen der zweiten Ordnung betrug an der Grenze des Roth und Grün:

„Bei dem Glaſe 3,22^{mm}, bei den Cylindern 3,22^{mm}.

„Es dürfte ſchwer ſein, rückſichtlich der Maſſe und der Beſchaffenheit der Ränder der Oeffnung Umſtände ausfindig zu machen,

*) Siehe oben S. 310.

welche einander unähnlicher sind als die in dem vorigen Versuche ausgewählten: in dem einen Falle wurde die Beugung durch eine dünne Schicht chinesischer Tusche, in dem andern durch zwei messingene Cylinder von 14,5^{mm} Durchmesser, die also den Strahlen an den Rändern der Oeffnung beträchtliche Massen und Oberflächen darboten, erzeugt; und dessenungeachtet beobachtet man in beiden Versuchen eine vollständige Gleichheit in der Ausbreitung des Lichtbündels."

Der folgende Versuch beweist auf nicht minder evidente Weise, daß man die Form des Körpers ändern kann, ohne dadurch in irgend einer Weise die Lage der Beugungsstreifen zu ändern.

„Ich ließ, sagt Fresnel, ein Lichtbündel zwischen zwei sehr nahe an einander stehenden Stahlplatten hindurchgehen, deren in ihrer ganzen Länge sorgfältig bearbeitete verticale Ränder in der einen Hälfte eine scharfe Schneide bildeten, in der andern aber abgerundet, und so einander gegenübergestellt waren, daß der abgerundete Rand der einen Platte der Schneide der andern entsprach, und umgekehrt; daß also wenn die Schneide sich z. B. in dem obern Theile der Oeffnung rechts befand, dieselbe in dem untern Theile links lag. Wenn nun der Unterschied in der Wirkung der beiden Ränder die Streifen auch nur etwas mehr nach der einen Seite hin geschoben hätte als nach der andern, so würde ich es an den relativen Lagen des obern und untern Theils des hellen Raumes in der Mitte, und besonders an den Lagen der ihn umgebenden Streifen bemerkt haben, indem diese in dem Theile, welcher dem Punkte entsprach, wo die obere Schneide sich abrundete und die untere Schneide der andern Platte begann, hätten gebrochen erscheinen müssen. Bei aufmerksamer Beobachtung jener Streifen habe ich aber in ihrem ganzen Verlaufe keine Bruch- oder Biegungsstelle wahrgenommen; sie waren geradlinig und ohne Unterbrechung, gerade so als wenn die Platten in der Weise angeordnet gewesen wären, daß die gleichgeformten Theile der Ränder einander gegenüberstanden. Man würde, setzt Fresnel hinzu, den Versuch abändern können, indem man diese Platten aus zwei Stücken von verschiedenen Substanzen zusammensetzte, und doch dasselbe Resultat erhalten." Ich erinnere mich in der That, vor einigen Jahren in dem physikalischen Cabinet in Arcueil solche aus zwei verschie-

dergleichen Substanzen zusammengesetzte Platten gesehen zu haben, die indeß, wie Berthollet und Malus durch vielfache und sehr genaue Messungen sich überzeugt hatten, in ihrer ganzen Länge das Licht gleichförmig ablenkten.

XVIII.

Versuche zur Ermittelung der Strahlen, die zur Erzeugung der Streifen beitragen. *)

Die folgenden Versuche zeigen gleichfalls, daß man die Beugungsphänomene nicht allein den Strahlen zuschreiben kann, welche die Ränder der Körper berühren, sondern daß unzählige von diesen Rändern durch merkliche Zwischenräume getrennte Strahlen aus ihren ursprünglichen Richtungen entfernt werden und ebenfalls zur Bildung der Streifen beitragen.

„Nachdem ich, sagt Fresnel, einem Kupferblättchen GH die in der beigefügten Figur (Fig. 20) dargestellte Form gegeben hatte, stellte ich es in einem dunkeln Zimmer vor einen leuchtenden Punkt, und untersuchte seinen Schatten mittelst einer Loupe. Beim allmälichen Entfernen davon beobachtete ich Folgendes: Wenn die durch jede der

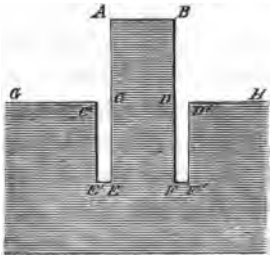


Fig. 20. — Ermittelung der zur Erzeugung der Streifen beitragenden Strahlen.

sehr schmalen Oeffnungen CEE'C' und DFF'D' erzeugten Streifen aus dem Kernschatten von CDEF herausgetreten waren, der dann nur noch ein merklich weißes Licht von jeder Spalte, dieselbe isolirt be-

*) Siehe oben S. 313.

trachtet, empfing, so zeigten die innern durch das Durchkreuzen dieser beiden Lichtbündel entstehenden Streifen viel lebhaftere und reinere Farben als die innern Streifen des Schattens ABDC, und besaßen gleichzeitig mehr Glanz. Entfernte ich mich weiter, so sah ich das Licht in der ganzen Ausdehnung des Schattens ABFE abnehmen, jedoch schneller in EFDC als in dem obern Theile; so daß es eine Stellung gab, wo die Intensität des Lichtes von oben nach unten dieselbe war, worauf dann die Streifen in dem untern Theile *) dunkler wurden, obgleich ihre Farben stets viel reiner waren.

„Wenn es kein gebeugtes Licht gäbe außer dem, welches die Ränder des undurchsichtigen Körpers selbst gestreift hat, so müßten die Streifen des obern Theiles deutlicher sein als die des untern, und reinere Farben zeigen; denn die erstern würden aus dem Zusammentreffen zweier Wellensysteme hervorgehen, deren Mittelpunkte auf den beiden Rändern AC und BD lägen, während die andern durch das Zusammentreffen von vier Wellensystemen entständen, deren Mittelpunkte auf den Rändern C′E′, CE, DF, D′F′ lägen, was nothwendig den Intensitätsunterschied der dunkeln und hellen Streifen im homogenen Lichte, oder die Reinheit der Farben im weißen Lichte vermindern müßte, weil die Streifen, welche durch die in C′E′ und DF reflectirten und gebeugten Strahlen entständen, nicht vollkommen mit denen zusammenfallen würden, welche aus dem Zusammentreffen der von CE und D′F′ ausgegangenen Strahlen entsprängen. Nun beweist aber, wie ich zuvor bemerkt habe, der Versuch das Gegentheil. Nach derselben Hypothese würde man erklären können, wie es zugeht, daß der Schatten von ECDF durch die doppelte Lichtquelle, welche die beiden Ränder jeder Spalte liefern, mehr beleuchtet ist, als der von ABDC; aber es würde aus dieser Erklärung ebenfalls folgen, daß der untere Theil stets an Glanz der stärkere sein müßte, was, wie ich zuvor gezeigt habe, nicht der Fall ist.

„Aus den obigen Versuchen folgt, daß man die Beugungser-

*) Damit dieser Unterschied im Glanze zwischen den beiden Theilen des Schattens recht deutlich hervortreten kann, müssen die Spalten CE und DF sehr schmal und das Kupferblättchen hinreichend vom leuchtenden Punkte entfernt sein.

ſcheinungen nicht blos denjenigen Strahlen zuſchreiben kann, welche die Ränder der Körper berühren; man muß vielmehr annehmen, daß unzählige andere Strahlen, obwohl ſie von dieſen Körpern durch merkliche Intervalle getrennt ſind, doch nichts deſto weniger aus ihrer urſprünglichen Richtung abgelenkt werden und ebenfalls zur Entſtehung der Streifen beitragen.

„Die Verbreiterung, welche ein Lichtbündel beim Durchgehen durch eine ſehr enge Oeffnung erfährt, beweiſt auf eine noch unmittelbarere Weiſe, daß die Beugung des Lichtes ſich bis auf einen merklichen Abſtand von den Rändern des Diaphragmas erſtreckt. Beim Nachdenken über dieſes Phänomen erkannte ich den Irrthum, in den ich zuerſt verfallen war. Wenn man zwei in einem dunkeln Zimmer vor einen leuchtenden Punkt geſtellte undurchſichtige Platten einander ſehr nähert, ſo ſieht man den durch die Oeffnung zwiſchen beiden erhellten Raum ſich beträchtlich erweitern: es ſind dies die beiden Schneiden Newton's. Ich ſetze voraus, daß wie bei ſeinem Verſuche die Ränder der Oeffnung ſcharfe Schneiden bilden, nicht als ob dies auf die Erſcheinung einen Einfluß ausübe, ſondern nur, um die Schlußfolgerung, welche daraus gezogen werden ſoll, evidenter zu machen. Wenn die kleine Menge von Strahlen, welche die Schneiden berührt haben, ſich über einen ſo ausgedehnten Raum verbreitete, ſo würde ſie nur ein unmerkliches oder wenigſtens äußerſt ſchwaches Licht erzeugen können, in deſſen Mitte man einen durch das directe Strahlenbündel gebildeten hellen Streifen unterſcheiden müßte. Dem iſt indeß nicht ſo: die weiße Farbe erſcheint in einem viel größern Raume als die Projection der Oeffnung *) von einer faſt gleichförmigen Intenſität; ſie nimmt dann, aber allmälich, bis zu den dunkeln Streifen der erſten Ordnung ab. Ohne Zweifel lag in der beträchtlichen Menge gebeugten Lichtes der Grund, weshalb Newton angenommen hatte,

*) „Der erhellte Raum iſt im Verhältniß zur koniſchen Projection der Oeffnung um ſo größer, je weiter von dem Diaphragma man das weiße Papier, worauf man ſeinen Schatten auffängt, entfernt, und je weiter das Diaphragma ſelbſt vom leuchtenden Punkte abſteht, ſo daß man durch hinreichende Vergrößerung dieſer beiden Abſtände denſelben Erfolg mit einer Oeffnung von beliebiger Breite würde erreichen können.“

daß die Wirkung der Körper auf die Lichtstrahlen sich auf sehr merkliche Abstände erstrecke; indeß vermag diese Hypothese nicht eine gründliche Prüfung auszuhalten."

XIX.

Versuche in Bezug auf die Verification der Wellenlänge eines rothen Strahles.*)

Der Verfasser bestimmt zunächst die Länge einer Undulation für die eigenthümliche Art gefärbten Glases, welches er anwandte, mittelst einer Methode, die sich in seiner Abhandlung erläutert findet.

Dieser Werth ergab sich als Mittel aus fünf sehr wenig verschiedenen Bestimmungen gleich 0,000638^{mm}. Im Nachstehenden soll erläutert werden, wie Fresnel die Richtigkeit dieses Resultats bestätigte.

Man kann auf diejenigen Streifen, welche durch das Zusammentreffen zweier auf zwei schwach gegen einander geneigten Spiegeln reflectirter Lichtbündel gebildet werden, die Formel anwenden, nach welcher Fresnel die Breite der Streifen bestimmt hatte, die in dem Schatten eines schmalen Körpers wahrgenommen werden. Nimmt man an, daß diese letzteren Streifen allein von dem an den Rändern des Körpers selbst gebeugten Lichte herrühren, so läßt sich ihre Breite oder das zwischen zwei aufeinander folgenden Minimis liegende Intervall nach der Formel $\frac{b\lambda}{c}$ berechnen (Annales de chimie et de physique Bd. 1, S. 261). λ ist die Länge der Lichtwelle und b der Abstand des Körpers vom Mikrometer. c bezeichnete die Breite des dunkeln Körpers; in dem von den beiden Spiegeln hervorgebrachten Phänomene muß es folglich den Abstand zwischen den beiden Bildern des leuchtenden Punktes darstellen.

„Da ich, sagt Fresnel, mir genau ebene Metallspiegel nicht verschaffen konnte, wandte ich zwei nicht belegte, sehr vollkommen geschliffene Glasplatten an, die ich, um die zweite Reflexion zu beseitigen,

*) Siehe oben S. 315.

auf der Rückseite mit einem schwarzen Firniß überziehen ließ. Ich befestigte sie neben einander mit etwas Wachs auf einer Unterlage, wobei ich sie, um Biegungen zu vermeiden, nur leicht andrückte. Ein aus dieser Befestigungsweise hervorgehender Uebelstand besteht darin, daß die Platten während des Versuches oft ihre Lage etwas ändern, und daß die geringsten Verrückungen das Verfahren ungenau machen. Um derartige Fehler zu vermeiden, trug ich Sorge, die Streifen vor und nach der Messung des Abstandes zwischen den beiden Bildern des leuchtenden Punktes zu messen, um mich zu versichern, daß sie während dieser Operation ihre Breite nicht geändert hatten. Den Abstand zwischen den beiden Bildern des leuchtenden Punktes bestimmte ich mittelst eines in einem gewissen Abstande vom Mikrometer aufgestellten Schirmes, der von einem kleinen kreisförmigen Loche durchbohrt war, das aber doch hinlängliche Größe besaß, damit der Mittelpunkt seines Schattens, anstatt hell und erweitert zu sein, wie dies bei Anwendung einer sehr engen Oeffnung eintritt, von einem sehr kleinen dunkeln Kreise eingenommen wurde, was die Messungen genauer machte. Dieser Schirm war von den beiden Spiegeln hinreichend entfernt, so daß die Ränder des Loches weit genug von den Grenzen des gemeinschaftlichen Theils der beiden Lichtfelder abstanden, und folglich keinen merklichen Einfluß auf die centralen Streifen dieses kleinen Loches ausüben konnten. Ich maß den Abstand zwischen den Mittelpunkten der beiden Lichtprojectionen des kleinen Loches, die symmetrisch in Bezug auf die durch die beiden Spiegel erzeugten Streifen lagen und sich in der Höhe des Mikrometers befanden, so daß ich nicht genöthigt war, dessen Lage zu ändern; dies ist unerläßlich, weil es fast niemals sich trifft, daß die Streifen in ihrer ganzen Erstreckung dieselbe Breite besitzen. Indem außerdem der Abstand des kleinen Loches vom Mikrometer und von den beiden Bildern des leuchtenden Punktes bekannt war, konnte ich durch eine einfache Proportion den Abstand zwischen diesen beiden Bildern berechnen. Ich lasse hier die Resultate meiner Beobachtungen folgen; jede mikrometrische Messung ist wenigstens viermal wiederholt worden.

Erste Beobachtung.

Abstand des leuchtenden Punktes von den Spiegeln . .	2,323	Met.
„ der Spiegel von dem kleinen Loche	3,171	„
„ des kleinen Loches von dem Mikrometer . . .	1,522	„
Gesammter Abstand oder Werth von b	7,016	„
Abstand zwischen den Mittelpunkten der beiden Lichtprojectionen des kleinen Loches	3,370	Millim.
Daraus erhält man den Abstand der beiden Bilder des leuchtenden Punktes	12,16	„
Aus diesen Daten ergibt sich für die Breite von elf Streifen mittelst der Formel $\frac{11\,b\,\lambda}{c}$ und des obigen Werthes von λ	4,05	„
Die Beobachtung hatte mir gegeben	4,06	„
Unterschied . . .	— 0,01	„

Zweite Beobachtung.

Abstand des leuchtenden Punktes von den Spiegeln . .	2,321	Met.
„ der Spiegel von dem kleinen Loche	3,105	„
„ des kleinen Loches von dem Mikrometer . . .	1,533	„
Gesammter Abstand oder Werth von b	6,959	„
Abstand zwischen den Mittelpunkten der beiden Lichtprojectionen des kleinen Loches	4,14	Millim.
Daraus erhält man den Abstand der beiden Bilder des leuchtenden Punktes	14,65	„
Aus diesen Daten ergibt sich für die Breite von elf Streifen mittelst der Formel $\frac{11\,b\,\lambda}{c}$	3,33	„
Die Beobachtung hatte mir gegeben	3,35	„
Unterschied . . .	— 0,02	„

„Man ruft eine dem von zwei schwach gegen einander geneigten Spiegeln erzeugten Phänomene ähnliche Erscheinung mittelst eines Glases hervor, das auf der einen Seite eben ist, auf der andern Seite aber von zwei einen sehr stumpfen hervorspringenden Winkel bildenden Ebenen begrenzt wird, so daß die durch dieses Glas entstehenden beiden Bilder des leuchtenden Punktes einander nahe genug liegen, um den Streifen eine hinreichende Breite zu ertheilen und sie gut wahr-

nehmbar zu machen. Die Einschaltung dieses Glases erzeugt, ebenso wie die Reflexion auf zwei Spiegeln, zwei Systeme von Lichtwellen, deren Durchschnitte je nach der Uebereinstimmung oder dem Gegensatze ihrer Schwingungsbewegungen helle oder dunkle Streifen erzeugen. Es ist klar, daß dieselben Formeln auf diese Phänomene anwendbar sind. Es folgen hier die Resultate eines mit einem prismatischen Glase angestellten Versuchs, wobei ich im Uebrigen dasselbe Verfahren anwandte, wie in den vorhergehenden Beobachtungen über die von zwei Spiegeln erzeugten Streifen:

Abstand des leuchtenden Punktes von dem kleinen Loche .	5,877 Met.
„ des kleinen Loches von dem Mikrometer . . .	1,265 „
Gesammter Abstand oder Werth von b	7,142 „
Abstand zwischen den Mittelpunkten der beiden Lichtprojectionen des kleinen Loches	4,66 Millim.
Daraus erhält man den Abstand der beiden Bilder des leuchtenden Punktes	21,65 „
Aus diesen Daten ergibt sich für die Breite von elf Streifen mittelst der Formel $\frac{11\,b\,\lambda}{c}$	2,31 „
Die Beobachtung hätte mir gegeben	2,30 „
Unterschied . . .	+ 0,01 „

„Nach Newton's Beobachtungen beträgt die Wellenlänge der äußersten rothen Strahlen 0,000645^{mm}; die der Strahlen an der Grenze von Roth und Orange 0,000596^{mm} und folglich die der mittleren rothen Strahlen 0,000620^{mm}. Sonach würde also die Länge 0,000638^{mm} einem Punkte des Sonnenspectrums entsprechen, welcher dem Ende etwas näher läge, als der Mitte des Roth, wofern Newton's Resultate nicht etwas zu gering sind, wie ich zu glauben geneigt sein möchte."

XX.

Versuche über die Bestimmung der relativen Intensitäten der Streifen.*)

Als Poisson nach dem Berichte der Commission Fresnel bemerk-

*) Siehe oben S. 315.

lich gemacht hatte, daß das Integral, welches die Intensität des gebeugten Lichtes darstellt, für den Mittelpunkt eines kreisförmigen Schirmes oder einer solchen Oeffnung sehr leicht erhalten werden kann, führte Fresnel die Rechnung für diesen letzten Fall aus, und fand, daß der allgemeine Ausdruck für die Intensität dann dem Ausdrucke für das bei den farbigen Ringen reflectirte Licht ähnlich wurde; daß seine Minima gänzlich Null waren, und also in einem merklich homogenen Lichte ein fast vollständiges Schwarz geben mußten, wenigstens für die drei ersten Ordnungen, wo der Mangel an Homogeneität in dem angewandten rothen Lichte sich noch nicht bemerklich macht, was auch die Erfahrung bestätigt hat. Als man den Brennpunkt der Loupe des Mikrometers in die berechneten Abstände brachte, bemerkte man im Centrum der kreisförmigen Oeffnung einen schwarzen wie mit Dinte gemachten Flecken.

Als die Erscheinung im weißen Lichte beobachtet wurde, sah man beim allmälichen Annähern an die Oeffnung den Mittelpunkt ihrer Projection successive alle Farben darbieten, die man in den durch das Zusammentreffen zweier von Spiegeln reflectirter Lichtbündel erzeugten Streifen wahrnimmt und zwar mit derselben Lebhaftigkeit.

Nachdem Fresnel für eine gegebene Distanz und für eine kreisförmige Oeffnung, deren Durchmesser gemessen war, die Intensität jeder der sieben Hauptarten von einfachen Strahlen berechnet hatte, setzte er die auf solche Weise erhaltenen Zahlen in die empirische Formel Newton's, welche zur Bestimmung der von irgend einer Mischung farbiger Strahlen erzeugten Nuance dient, ein, und fand ein mit der Beobachtung übereinstimmendes Resultat.

Man kann diesen Versuch als eine Bestätigung der Fresnel'schen Formeln bezüglich der Intensität des gebeugten Lichtes betrachten; man sieht wenigstens, daß sie die relativen Intensitäten der verschiedenen Strahlenarten darstellen.

XXI.

Bericht über eine auf die Farben doppeltbrechender kryſtalliſirter Blättchen bezügliche Abhandlung Fresnel's. *)

Der Akademie der Wiſſenſchaften erſtattet am 4. Juni 1821.

Der Zweck der Abhandlung Fresnel's, über welche die Akademie Herrn Ampère und mir die Berichterſtattung aufgetragen hat, iſt erſtens zu beweiſen, daß die ſinnreiche Theorie der beweglichen Polariſation, durch welche Biot die Bildungsweiſe der lebhaften Farben erklärt, welche die kryſtalliſirten Blättchen darbieten, wenn man ein polariſirtes Lichtbündel durch ſie hindurchgehen läßt und das austretende Licht mit einem Kalkſpathrhomboeder analyſirt, in vielen Punkten unzureichend oder ungenau iſt; und zweitens darzuthun, daß ſämmtliche Farbenerſcheinungen, welche ſeit einigen Jahren die franzöſiſchen, engliſchen und deutſchen Phyſiker ſo viel beſchäftigt haben, nothwendige Folgen der gegenſeitigen Einwirkung der zwei Lichtbündel ſind, in welche ſich beim Durchgange durch das kryſtalliſirte Blättchen das Licht ſpaltet.

Da die Vorgänge bei jener eigenthümlichen Wirkungsweiſe, welche zwei Lichtſtrahlen aufeinander ausüben, der ſogenannten Interferenz, bis jetzt ſehr wenig die Aufmerkſamkeit der Beobachter auf ſich gezogen haben, ſo ſchien es uns zweckmäßig, dem Berichte über die Fresnel'ſche Abhandlung eine Zuſammenſtellung aller experimentellen ſich auf die Interferenz beziehenden Geſetze, von denen wir Gebrauch machen werden, vorauszuſenden.

*) Dieſer in den 17. Band der Annales de chimie et de physique aufgenommene Bericht iſt daſelbſt von folgender Bemerkung begleitet: „Obwohl dieſer Bericht Montag den 4. Juni 1821 vor der Akademie der Wiſſenſchaften geleſen wurde, ſo hat doch dieſe Geſellſchaft erſt in der folgenden Sitzung vom 11. Juni über die Vorſchläge, die ſich am Ende befinden und an denen in der Zwiſchenzeit Herr Ampère und ich geringe Modificationen angebracht hatten, Beſchluß gefaßt. Mit der angeſtrengteſten Aufmerkſamkeit habe ich die Erwiederung angehört, welche Herr Biot am 11. Juni geleſen hat, geſtehe aber offen, daß ſie mir keinen der Beweiſe umzuſtoßen geſchienen, die wir von dem Ungenügenden der Theorie der beweglichen Polariſation gegeben hatten.“

Zwei Strahlen*) homogenen Lichtes, welche von einer und derſelben Quelle ausgehen und auf zwei verſchiedenen, ſehr wenig ungleichen Wegen zu einem gewiſſen Punkte im Raume gelangen, verſtärken oder zerſtören ſich, und bilden auf dem ſie auffangenden Schirme je nach dem Unterſchiede ihrer Wege eine helle oder dunkle Stelle.

Zwei Strahlen verſtärken ſich da, wo ſie gleiche Wege zurückgelegt haben; findet man, daß ſie ſich von Neuem verſtärken, wenn die Differenz der beiden Wege gleich einer gewiſſen Größe d iſt, ſo werden ſie ſich wiederum für alle in der Reihe 2d, 3d, 4d u. ſ. w. enthaltenen Differenzen verſtärken. Die Zwiſchenwerthe $0 + {}^1/_2 d$, $d + {}^1/_2 d$, $2d + {}^1/_2 d$ u. ſ. w. zeigen diejenigen Fälle an, wo die Strahlen ſich gegenſeitig aufheben.

Die Größe d hat nicht denſelben Werth für alle homogenen Strahlen: in der Luft beträgt ſie ${}^{67}/_{100000}{}^{mm}$ für die äußerſten rothen Strahlen des Spectrums, aber nur ${}^{42}/_{100000}{}^{mm}$ für die violetten; die den andern Farben entſprechenden Werthe liegen zwiſchen den eben genannten.

Der Wegunterſchied beſtimmt die Wirkungsweiſe, welche zwei Strahlen in ihrem Durchkreuzungspunkte aufeinander ausüben, nur dann allein, wenn ſich beide ſtets in demſelben Mittel bewegt haben. Exiſtirt zwiſchen den Brechungen oder den Dicken der durchſichtigen von jedem Strahle durchlaufenen Körper irgend eine Verſchiedenheit, ſo erzeugt ſie eine Wirkung, die einem Wegunterſchiede gleich kommt.

Bei allen Interferenzerſcheinungen erzeugen zwei verſchiedene Mittel gleiche Wirkungen, wenn ihre Dicken im umgekehrten Verhältniſſe ihrer Brechungserponenten ſtehen, wobei wir unter dem Namen Brechungscoefficient, ebenſo wie die engliſchen Phyſiker das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels verſtehen.

Eine vorläufige Polariſation der Strahlen modificirt in mehreren Beziehungen die vorſtehenden Interferenzgeſetze. Folgendes ſind die Reſultate, welche Fresnel und Arago in einer gemeinſchaftlich unter-

*) Vergl. oben S. 105.

nommenen Arbeit, die in den Annales de chimie et de physique *) erſchienen iſt, erhalten haben.

Zwei Strahlen von gleicher Polariſationsrichtung wirken aufeinander wie natürliche Lichtſtrahlen.

Unter denſelben Umſtänden, wo zwei Strahlen des gewöhnlichen Lichtes ſich wechſelsweiſe zu zerſtören ſcheinen, üben zwei unter rechten Winkeln oder in entgegengeſetztem Sinne polariſirte Strahlen keine wahrnehmbare Wirkung aufeinander aus.

Zwei urſprünglich in entgegengeſetztem Sinne polariſirte Strahlen können ſpäter auf eine und dieſelbe Polariſationsebene zurückgeführt werden, ohne dabei die Fähigkeit aufeinander zu wirken, zu erlangen.

Zwei in entgegengeſetztem Sinne polariſirte und dann auf dieſelbe Polariſationsebene zurückgeführte Strahlen wirken aufeinander wie natürliche Strahlen, wenn ſie aus einem urſprünglich in einerlei Richtung polariſirten Lichtbündel ſtammen.

Nach Zuſammenſtellung dieſer Geſetze gehen wir jetzt zu dem Berichte über die Abhandlung über, welche die Akademie uns zur Prüfung übergeben hat.

Um die Farbenerſcheinungen zu erklären, welche die kryſtalliſirten Blättchen zeigen, wenn man polariſirtes Licht durch ſie hindurchgehen läßt, nimmt Biot an, daß dieſe Blättchen nicht wie dicke Kryſtalle auf das Licht wirken. Ihm zufolge beſtehen die Fundamentalprincipien der eigenthümlichen Wirkungsweiſe in dieſen Blättchen in Folgendem; dieſe Principien bilden die Grundlage deſſen, was er die Theorie der beweglichen Polariſation genannt hat.

Wenn ein Strahl einfachen Lichtes, der nach einer feſten Richtung polariſirt iſt, ſenkrecht durch ein kryſtalliſirtes, mit der Axe der Doppelbrechung paralleles Blättchen hindurchgeht, ſo dringen die Lichtmolecüle zuerſt bis auf eine gewiſſe Tiefe ein, ohne ihre urſprüngliche Polariſation zu verlieren. Bei ihrem weiteren Vordringen aber beginnen ſie periodiſch um ſich ſelbſt zu oscilliren, dergeſtalt, daß ihre Polariſationsaxe abwechſelnd auf die eine oder andere Seite der

*) Siehe oben S. 118.

Kryſtallare oder der auf ihr ſenkrechten Linie in gleichen Amplituden, wie ein Pendel um die Verticale, aus der man es entfernt hat, ſchwingt. . Jede der Oscillationen erfolgt in einer Dicke 2 l', der doppelten von derjenigen, welche das Molecül anfangs durchlaufen hatte, bevor es in Oscillation gerieth.

„ . . . . Dieſe oscillatoriſche Bewegung (ſo heißt es in dem Traité de physique expérimentale et mathematique Bd. 4, S. 391) hört auf, wenn die Lichtmolecüle an der zweiten Oberfläche des Blättchens angelangt, in die Luft oder in ein anderes Mittel, welches keine Doppelbrechung beſitzt, austreten. Wenn man dann den austretenden Strahl der Wirkung eines Kalkſpathprismas oder einer geneigten Glasplatte oder irgend einer anderen, die feſte Polariſation erzeugenden Vorrichtung ausſetzt, ſo verhalten ſich die Lichtmolecüle, als ob ſie vollſtändig die Polariſationsrichtung beſäßen, gegen welche ihre letzte Oscillation ſie hinführte, mögen ſie dieſelbe ganz vollendet oder auch in dem Augenblicke, wo ſie aus dem Kryſtall ausgetreten ſind, nur begonnen haben.“

Nach dieſem zweiten Princip „müſſen, wenn das einfache Licht dünne Blättchen eines parallel mit der Axe geſchliffenen Kryſtalles durchdringt, die Abwechſelungen in der Polariſation, welche dies Licht bei ſeinem Austritte zeigt, genau gleiche Perioden verfolgen. So verhalten ſich, ſetzt Biot hinzu, von der Dicke 0 bis zu einer gewiſſen fundamentalen Dicke e' die homogenen Molecüle, welche es bilden, nach ihrem Austritte gerade ſo, als ob ſie ihre urſprüngliche Polariſation nicht verlaſſen hätten. Von e' bis 2 e' verhalten ſie ſich ſo, als ob ſie dieſelbe verlaſſen hätten, um eine neue Polariſation in dem Azimut 2 i anzunehmen, und endlich ſcheinen ſie abwechſelnd in dem Azimut 0 oder 2 i polariſirt.“ (Traité etc. Bd. 4, S. 389.)

Endlich berichtet Biot (S. 390) einen Verſuch, welcher ihm zufolge beſtimmt iſt, zu beweiſen, daß die Lichtmolecüle in dem Maaße, als ſie „in eine und dieſelbe Platte eindringen, darin in der That dieſe Abwechſelungen erfahren . . .“

Vergleichen wir nun dieſe verſchiedenen Paragraphen mit den in Fresnel's Abhandlung erhaltenen Reſultaten. Dieſer geſchickte Phyſiker kündigt zuerſt an, daß die von Biot gegebenen Geſetze der be-

weglichen Polarisation mit der Beobachtung nur in sehr besonderen Fällen übereinstimmen. Wir glauben hier einen der Versuche anführen zu müssen, auf welche er diese Behauptung stützt und den er uns häufig vorgeführt hat.

Er stellt ein Gypsblättchen in die Lage, daß seine Are einen Winkel von 45° mit der ursprünglichen Polarisationsebene des homogenen Lichtes, welches er durch dasselbe hindurchgehen lassen will, bildet. Da in dieser Lage $2i$ gleich 90° ist, so würde den vorhergehenden Principien zufolge das durchgelassene Lichtbündel entweder in der ursprünglichen oder in der darauf senkrechten Ebene polarisirt sein müssen. Wenn man indeß das Licht mit einem Kalkspathrhomboeder analysirt, so gibt es, falls das Blättchen eine passende Dicke besitzt, in allen Lagen des Hauptschnittes zwei Bilder von gleicher Intensität. Man muß also nothwendig annehmen, entweder daß das Licht in dem Blättchen vollständig depolarisirt worden ist, oder daß es sich zur Hälfte zwischen der ursprünglichen Ebene und dem Azimut $2i$ getheilt hat; aber keine dieser beiden Voraussetzungen stimmt, wie man sieht, mit dem Ausspruche des von Biot gegebenen Gesetzes überein.

Wenn man mit d jene Differenz der durchlaufenen Wege bezeichnet, von der wir oben gesprochen haben, und welche die periodische Wiederkehr der Punkte des Raumes bestimmt, in welchen die Interferenz zweier homogener Strahlen eine vollständige Dunkelheit hervorruft, so wird man mittelst der folgenden Regeln die Dicken der Blättchen berechnen können, welche die von Biot beschriebenen Phänomene erzeugen, und ebenso auch die Dicken, in welchen umgekehrt die Phänomene mit seinen Gesetzen nicht übereinstimmen.

Wird der Unterschied der von dem regelmäßigen und unregelmäßigen Strahle in dem Blättchen durchlaufenen Wege gleich 0 oder nd oder $(n + 1/2)\,d$, wo n eine ganze Zahl ist, so erscheint das durchgelassene Licht ganz und gar in der ursprünglichen Ebene oder in dem Azimut $2i$ polarisirt.

Ist die Dicke des Krystalles so beschaffen, daß der Unterschied der durchlaufenen Wege durch die Formel $(n + 1/4)\,d$, wo n ebenfalls eine ganze Zahl bedeutet, gegeben wird, so fehlt in dem durchgelassenen

Lichte jede Spur von Polarisation, sobald die Axe des Blättchens 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene geneigt ist.

In allen anderen Fällen endlich erkennt man leicht, wenn man die austretenden Strahlen mit einem Kalkspathrhomboeder untersucht, daß diese Strahlen nur partiell polarisirt sind.

Nach den Principien der beweglichen Polarisation erlangt das Licht beim Durchgange durch die Krystalle nicht plötzlich die beiden festen und auf einander rechtwinkligen Polarisationen, die man zuerst in den durch ein Kalkspathrhomboeder hindurchgegangenen regelmäßigen und unregelmäßigen Strahlen bemerkt hat. Nur erst nach dem Eindringen in den Krystall auf merkliche Dicken, die z. B. nach Biot für den Quarz mehrere Millimeter betragen sollen, würden die Axen der Molecüle in die Ebene des Hauptschnittes und in die darauf senkrechte angeordnet gefunden werden. Dagegen glaubt Fresnel, daß das aus einem einaxigen dünnen oder dicken Krystalle austretende Licht stets aus zwei in rechtwinkligen Richtungen polarisirten Lichtbündeln zusammengesetzt ist. Hiervon hat sich niemals eine Ausnahme gezeigt bei den Krystallen, welche infolge ihrer Dicke oder ihres Schnittes die regelmäßigen und unregelmäßigen Strahlen hinreichend trennten, um deren Eigenschaften gesondert untersuchen zu können. Auf folgende Weise ist Fresnel verfahren, um darzuthun, daß dasselbe Gesetz auf die dünnsten Blättchen mit parallelen Flächen ausgedehnt werden muß.

Nachdem er das Sonnenlicht durch eine in dem Laden eines dunkeln Zimmers befestigte Linse von kurzer Brennweite in einen sehr kleinen Lichtpunkt vereinigt hatte, ließ er das divergirende Strahlenbündel auf zwei schwach gegeneinander geneigte Glasspiegel fallen. Nehmen wir an, daß der Einfallswinkel ungefähr 35° beträgt, so würden die von jedem der beiden Spiegel zurückgeworfenen Strahlen vollständig polarisirt sein und beim Durchkreuzen im Raume durch ihre Interferenz helle und dunkle Streifen geben. Untersucht man dieselben mit einem Kalkspathrhomboeder, so sind diese Streifen für alle Lagen der reflectirenden Spiegel in demselben Azimut polarisirt, wie die beiden zu ihrer Erzeugung beitragenden Bündel, woraus sich die schon im Anfange dieses Berichtes ausgesprochene Folgerung er-

gibt, daß das aus der Interferenz zweier in gleichem Sinne polarisirter Lichtbündel hervorgehende Licht gerade so polarisirt ist, wie die beiden zusammentreffenden Bündel.

Nehmen wir jetzt ein dünnes, sehr durchsichtiges Gypsblättchen und schneiden es, um zwei Blättchen von gleicher Dicke zu erhalten, mitten durch; befestigen wir die eine Hälfte dieses Blättchens vor den Spiegeln in der Weise, daß nur das auf der Oberfläche des ersten Spiegels reflectirte Bündel durch sie hindurchgeht; drehen sie ferner noch so, daß ihr Hauptschnitt einen Winkel von 45° mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht, und stellen dann die andere Hälfte des Blättchens in die Bahn der vom zweiten Spiegel reflectirten polarisirten Strahlen, jedoch in der Weise, daß ihr Hauptschnitt auf dem der ersten Hälfte senkrecht steht, und also ebenso wie dieser einen Winkel von 45° mit der ursprünglichen Polarisationsebene bildet.

Wenn diese Blättchen wie dicke Krystalle wirken, so müssen sie beide, wie gering übrigens auch ihre Doppelbrechung sein möge, die durch sie hindurchgehenden reflectirten Strahlen in zwei rechtwinklig aufeinander polarisirte Bündel von gleicher Intensität spalten; nur in den besonderen Lagen, die wir zuvor angenommen haben, trifft es sich, daß das regelmäßige Bündel des rechten Blättchens z. B. in demselben Sinne polarisirt ist, wie der unregelmäßige Strahl des linken Blättchens, und umgekehrt, daß das regelmäßige aus diesem letzteren Blättchen kommende Bündel eine analoge Polarisation wie das aus der entgegengesetzten Platte austretende unregelmäßige Bündel besitzt.

Hiernach ist leicht vorherzusehen, was in den Punkten, wo die beiden Bündel sich kreuzen, eintreten muß. Zuerst können die aus dem rechten Blättchen kommenden regelmäßigen Strahlen mit den vom linken Blättchen gelieferten unregelmäßigen interferiren, weil beide in demselben Sinne polarisirt sind, und werden ein erstes System von hellen und dunkeln Streifen bilden. Ein zweites System entsteht durch die Wirkung der unregelmäßigen rechten Strahlen auf die regelmäßigen Strahlen des linken Blättchens. Diese beiden Streifengruppen werden um so weiter von einander abstehen, je dicker die Blättchen und je stärker die Doppelbrechung der Substanz ist, woraus sie bestehen. In dem zwischenliegenden Raume finden sich die von

den beiden Blättchen gelieferten gleichnamigen Strahlen; da sie aber hier in entgegengesetztem Sinne polarisirt sind, so durchkreuzen sie sich, ohne irgend ein Interferenzphänomen zu erzeugen, und das Auge erblickt nur eine gleichförmige Helligkeit.

Es leuchtet nicht minder ein, daß bei Anwendung eines Gypsblättchens jedes der Streifensysteme in einer auf die Are des nächsten Blättchens senkrechten Ebene vollständig polarisirt sein muß. Nun ist aber unter diesen Folgerungen, die aus der zu Grunde gelegten Annahme, daß nämlich die beiden Blättchen das Licht wie dicke Krystalle zerlegen, hervorgehen, keine, die nicht vollständig mit der Erfahrung im Einklange stände.

Nach den Principien der beweglichen Polarisation von Biot würden dagegen die Phänomene sich ganz anders gestalten. Die beiden eingeschalteten Blättchen würden den durchgegangenen Strahlen entweder ihre ursprüngliche Polarisation lassen, oder dieselben wieder im Azimut $2i$ polarisiren. Da aber der Annahme nach i gleich 45^0 ist, so würden die definitiven Polarisationsebenen der beiden austretenden Strahlen die ursprüngliche Ebene und die darauf senkrechte sein. Dies würden folglich auch die Polarisationsrichtungen der beiden Streifensysteme sein, welche durch die Interferenz der regelmäßigen und unregelmäßigen, aus den beiden Blättchen kommenden Strahlen gebildet werden. Nun, weit gefehlt, daß die Beobachtung diese Folgerung aus den Gesetzen der beweglichen Polarisation bestätigt, kann man vielmehr sagen, daß sie ihr so viel als möglich widerspricht. Wenn man nämlich den Hauptschnitt eines Kalkspathrhomboeders in die ursprüngliche Polarisationsebene der von den Spiegeln zurückgeworfenen Strahlen oder in die darauf senkrechte Ebene stellt, so wird man nicht nur ein regelmäßiges und ein unregelmäßiges Bild von jedem Streifensysteme erblicken, sondern diese Lagen des Krystalles werden auch genau diejenigen sein, welche zwei Bilder von genau gleichen Intensitäten erzeugen.

Wer auch nur wenig über die einzelnen Fälle nachgedacht hat, in welchen die Lichtstrahlen wahrnehmbare Interferenzwirkungen geben, wird doch sofort einsehen, daß die beiden Streifensysteme, welche den Gegenstand der so eben der Akademie vorgetragenen Versuche aus-

machen, nur, wie wir dies angenommen haben, durch das Zusammentreffen der regelmäßigen Strahlen der einen Platte mit den unregelmäßigen Strahlen der entgegengesetzten Platte entstehen können. Sollte man jedoch in dieser Beziehung noch irgend einen Zweifel hegen, so würden wir hinzusetzen, daß es leicht ist, diesen Versuch in der Weise zu wiederholen, daß man an die Stelle der bisher gebrauchten dünnen Blättchen dicke Krystalle (z. B. zwei Kalkspathrhomboeder), in welchen die Doppelbrechung deutlich hervortritt, setzen kann. Da man in diesem Falle die Bahn eines jeden der beiden Strahlen verfolgen und abwechselnd mit einem Schirme aufhalten könnte, so ließe sich durch den Versuch selbst beweisen, daß es zur Bildung der einen der Streifengruppen nöthig, aber auch hinreichend ist, daß das regelmäßige Bündel des einen Krystalles mit dem unregelmäßigen Bündel des anderen Krystalles zusammentrifft, und ebenso umgekehrt. Die mittelst eines Kalkspathrhomboeders bestimmte Polarisationsrichtung der Streifen würde übrigens genau dieselbe sein, wie bei dem Versuche mit den dünnen Blättchen. Die einzige Abweichung würde sich in dem Abstande finden, der die beiden Gruppen trennte. Da dieser stets von dem Unterschiede der von den regelmäßigen und unregelmäßigen Strahlen durchlaufenen Wege abhängt, so muß er bei dem Versuche mit den Krystallen viel größer sein als bei dem mit den Blättchen angestellten. Es würde selbst, wenn die Krystalle sehr dick wären, der Fall eintreten können, daß man, um neue Streifen in das Gesichtsfeld zu führen, einen Theil der Wege- oder Geschwindigkeitsdifferenz durch Einschaltung eines Planglases in die von dem einen der Lichtbündel durchlaufene Bahn compensiren müßte. Jedenfalls würden aber die Folgerungen aus der Beobachtung sich mit derselben Bestimmtheit darstellen. Wir wollen noch einen letzten Umstand beifügen, der für sich allein alle Bedenken zu heben vermag, die man über die wahre Ursache der Bildung der beiden Streifensysteme bei Anwendung dünner Blättchen hegen könnte; der Zwischenraum, welcher diese Streifen trennt, ist dergestalt von der Doppelbrechung der Strahlen abhängig, daß man daraus bei Versuchen, die einer von uns (Arago) mit Fresnel ausgeführt hat, stets einen genauen Zahlenwerth der Doppelbrechung hergeleitet hat, was leicht zu erkennen war,

indem man dieſelbe nachher durch die gewöhnlichen Verfahren bei dicken Kryſtallen von gleicher Beſchaffenheit maß.

Faſſen wir das Geſagte zuſammen, ſo theilt ſich alſo ein Lichtſtrahl, der durch ein dünnes Gypsblättchen geht, im Allgemeinen in zwei Strahlen, in einen regelmäßigen und in einen unregelmäßigen. In aller Strenge verfolgen zwar dieſe beiden Strahlen in dem Kryſtalle verſchiedene Bahnen; es iſt aber nicht möglich, ſie phyſiſch zu trennen, weil wir wegen der Unvollkommenheit unſerer Organe gezwungen ſind, nach Objecten von einer gewiſſen Breite zu viſiren. Man ſieht jetzt, wo die Schwierigkeit bei den von Biot und Fresnel über die Art von Polariſation, welche jeder der beiden Strahlen in dem Blättchen erlitten haben muß, angeſtellten Unterſuchungen liegt. Ohne eine Iſolirung dieſer Strahlen zu verſuchen, begnügt ſich Biot, die Eigenſchaften des austretenden Lichtes in ſeiner ganzen Maſſe zu erforſchen. Er findet, daß in gewiſſen von uns namhaft gemachten Fällen dieſes gleichzeitig aus regelmäßigen und unregelmäßigen Strahlen zuſammengeſetzte Licht ſeine urſprüngliche Polariſation zu behalten oder ganz und gar in dem Azimut 2i polariſirt zu ſein ſcheint. Hierauf gründet er den Schluß, daß die dünnen Blättchen ganz anders wirken ſollen, als die dicken Kryſtalle. Fresnel trennt ſtreng genommen die beiden Klaſſen von austretenden Strahlen auch nicht, iſolirt ſie aber wenigſtens in ihren Wirkungen. Wenn er die Eigenſchaften der regelmäßigen Strahlen ſtudiren will, wirft er auf den Raum, wo dieſe Strahlen ſich mit den unregelmäßigen Strahlen gemengt finden, ein wie die erſtern polariſirtes Bündel, das folglich nur mit ihnen Interferenzerſcheinungen geben kann. Das Geſichtsfeld wird dann ſo zu ſagen von einem gleichförmigen durch das unregelmäßige Bündel erzeugten Lichtſchleier und von einem Syſteme heller und dunkler Streifen gebildet, zu deren Entſtehung nur die regelmäßigen Strahlen und die der gemachten Annahme zufolge ähnlich polariſirten Strahlen des hinzugefügten Bündels beitragen. Die Eigenſchaften dieſer Streifen in Bezug auf die Polariſation müſſen uns alſo lehren, welche Eigenſchaften das regelmäßige Bündel beſitzt, weil der Vorgang der Interferenz ſie nicht ändert; und es iſt klar, daß das Vorhandenſein des unregelmäßigen Bündels in keiner Weiſe ein Hinderniß für

die Beſtimmung der Lage der Polariſationsebene in den Strahlen, woraus die Streifen gebildet ſind, ſein kann.

Nachdem wir die Verſuche berichtet haben, mittelſt deren Fresnel daß Ungenügende der Theorie der beweglichen Polariſation dargethan hat, müſſen wir zeigen, wie es ihm gelungen iſt, die Farben dünner Blättchen von eben denſelben Principien der Interferenz abhängig zu machen, die er bereits mit dem glücklichſten Erfolge zur Erklärung der ebenſo zahlreichen als mannigfachen Erſcheinungen der Diffraction benutzt hatte.

Die Idee, daß die lebhaften Farben, welche die kryſtalliſirten Blättchen zeigen, wenn ſie polariſirten Lichtbündeln ausgeſetzt werden, von der Interferenz der regelmäßigen und unregelmäßigen Strahlen, in welche ſich das Licht beim Durchgange durch dieſe Blättchen theilt, abhängen, gehört unzweifelhaft dem Dr. Thomas Young. Bald nach dem Erſcheinen der Abhandlung, in welcher Biot die Beſchaffenheit der durch parallel mit der Are geſchnittene Bergkryſtallplatten von verſchiedener Dicke depolariſirten Farben angegeben hatte, entdeckte der gelehrte Secretär der londoner königl. Geſellſchaft, daß bei allen dieſen Dicken und unter allen Neigungen die Farben genau den Unterſchieden in den von den regelmäßigen und den unregelmäßigen Strahlen durchlaufenen Wegen entſprachen.

Dieſe merkwürdige Uebereinſtimmung konnte jedoch nicht als ein überzeugender Beweis dafür, daß die Interferenz der Strahlen die wahre Urſache der Färbung der Blättchen ſei, betrachtet werden, weil Young nicht einmal den Verſuch gemacht hatte, aus dieſer Annahme mehrere der auffallendſten Umſtände des Phänomens zu erklären; z. B. warum der Glanz der Farben ſich mit der Lage der Are des Kryſtalles und der Lage des Hauptſchnittes des zu ihrer Beobachtung dienenden Kalkſpathrhomboeders gegen die urſprüngliche Polariſationsebene der durchgelaſſenen Strahlen ändert; warum das polariſirte Licht, wenn man das Blättchen mit bloßen Augen betrachtet, und das nicht polariſirte Licht, ſelbſt wenn man ſich eines Rhomboeders bedient, keine wahrnehmbare Färbung hervorrufen, u. ſ. w.

Fresnel hat die Frage in ihrer ganzen Allgemeinheit aufgefaßt, und ſich vorgeſetzt, zu beweiſen, daß es nicht ein einziges der aus den Beobachtungen über die Erſcheinungen der farbigen Polariſation,

welche die parallel der Axe der Doppelbrechung geschnittenen Blättchen hervorbringen, hergeleiteten Gesetze gibt, das nicht eine nothwendige Folgerung der Interferenz der regelmäßigen und der unregelmäßigen Strahlen wäre.

Wir wollen zuerst sehen, wie es Fresnel gelingt, den Versuch, durch welchen er beweist, daß die krystallisirten Blättchen das Licht in zwei rechtwinklig zu einander polarisirte Bündel theilen, mit jener scheinbar so entgegengesetzten Thatsache, daß wenn das Blättchen eine angemessene Dicke besitzt, die Gesammtheit der durch sie hindurchgegangenen polarisirten Strahlen bei ihrem Austritte nur in der ursprünglichen Ebene oder in dem Azimut 2i polarisirt scheinen kann, zu vereinigen.

Man erzeugt in einem dunkeln Zimmer einen sehr kleinen strahlenden Lichtpunkt durch das bereits S. 334 angegebene Verfahren. Man fängt das von diesem Punkte ausgehende divergirende Lichtbündel auf einem Glasspiegel auf, dessen zweite Fläche mit einem schwarzen Firniß bedeckt ist, und der folglich nur auf seiner Vorderfläche Licht reflectirt. Um von einer bestimmten Vorstellung auszugehen, wollen wir diesem Spiegel eine verticale Stellung geben, und ferner annehmen, daß das divergirende Lichtbündel nahe horizontal sei und die reflectirende Fläche unter einer wenig von dem Winkel der vollständigen Polarisation abweichenden Neigung treffe.

Nach Vollendung dieser ersten Anordnungen stellt man in die Bahn der vom Spiegel reflectirten Strahlen ein Kalkspathrhomboeder, dessen Hauptschnitt mit der Horizontalebene, mit welcher der Voraussetzung zufolge die Reflexionsebene parallel ist, einen Winkel von 45° macht; in dieser Lage des Rhomboeders theilt sich das Licht, welches durch dasselbe hindurchgeht, in zwei Bündel, in ein regelmäßiges und in ein unregelmäßiges, die gleiche Intensität besitzen, aber unter rechten Winkeln polarisirt sind. Bei ihrem Austritte aus dem ersten Rhomboeder treffen diese beiden Bündel auf ein zweites von derselben Dicke, dessen Hauptschnitt aber zu dem des ersten senkrecht steht: der austretende regelmäßige Strahl erleidet darin also die unregelmäßige Brechung, und umgekehrt verwandelt sich das Bündel, welches beim Austritte aus dem ersten Krystalle das unregelmäßige war, beim Durch-

gange durch den zweiten in das regelmäßige. Dieſe beiden neuen Bündel, das regelmäßige ſowohl als das unregelmäßige, bleiben bei ihrem Austritte in der Ebene des Hauptſchnittes des zweiten Kryſtalles und in der darauf ſenkrechten polariſirt.

Verfolgen wir jetzt dieſe beiden Bündel in Gedanken: zuvörderſt iſt klar, daß ſie wegen der ihnen gemeinſchaftlichen Divergenz ſich in einer um ſo größern Ausdehnung durchkreuzen, je weiter man ſich von dem Rhomboeder entfernt. Da ihre Ausgangspunkte unterſchieden und merklich getrennt ſind, ſo kann der Beobachter abwechſelnd den regelmäßigen oder den unregelmäßigen Strahl aufhalten; er vermag alſo einen und denſelben Punkt des beiden Bündeln gemeinſchaftlichen Raumes bald mit dem einen, bald mit dem andern Strahle allein, bald endlich mit allen beiden gleichzeitig zu beleuchten.

Wir ſtellen nun ein ſchwach matt geſchliffenes Glas in einen Theil des beiden Bündeln gemeinſchaftlichen Geſichtsfeldes, bezeichnen durch eine ſehr feine in einem undurchſichtigen und auf dieſem Glaſe angebrachten Blättchen befindliche Oeffnung genau den Ort, auf den ſich unſere Aufmerkſamkeit richten ſoll, und bedienen uns wie gewöhnlich eines Kalkſpathrhomboeders, um die verſchiedenen Lichtarten zu analyſiren, die nach dem Durchgange durch die Spalte des Diaphragmas die Netzhaut des Auges erreichen.

Zunächſt werden wir leicht erkennen, daß der gewöhnliche Strahl, wenn er allein in der Oeffnung, wo dieſelbe übrigens auch liegen möge, anlangt, daſelbſt keine Modification erleidet, und ebenſo wie zuvor polariſirt bleibt; und daſſelbe gilt auch von dem unregelmäßigen Strahle. Wenn aber dieſe beiden Strahlen ſich in der Spalte gekreuzt haben, und durch das Rhomboeder gleichzeitig zur Netzhaut des Auges gelangen, ſo wird das Phänomen von einem Punkte im Raume zum andern ſich ändern: an einer Stelle wird das aus den beiden Bündeln zuſammengeſetzte Licht die den Strahlen durch ihre erſte Reflexion auf dem Glasſpiegel eingeprägte Polariſation bewahrt zu haben ſcheinen; während weiterhin die Polariſationsebene ſenkrecht auf der vorhergehenden erſcheint, was genau dem Azimut $2i$ entſpricht, weil $i = 45^0$. In einem mittleren Punkte zwiſchen jenen beiden zeigt das Licht keine merkliche Spur von Polariſation. Dieſer Verſuch liefert

uns also die eigenthümliche Erscheinung zweier unter rechten Winkeln polarisirter Bündel, welche sich zuerst im Raume kreuzen, dann sich auf der Netzhaut des Auges vereinigen, und, kurz gesagt, ein bald in dem einen, bald in dem andern Sinne polarisirtes Lichtbündel erzeugen, je nachdem die Differenz der von den beiden Bündeln, woraus es besteht, durchlaufenen Wege diesen oder jenen Werth erreicht.

Wir haben bei diesem Versuche nur, um die Vorstellungen zu fixiren, ein mattgeschliffenes Glas angewandt; denn zu seinem Gelingen ist dasselbe keineswegs nothwendig. Man kann gleichfalls die kleine Spalte entbehren. Die Loupe, mit welcher Fresnel in der von der Akademie gekrönten Abhandlung die Interferenzvorgänge der gebeugten Strahlen erforschte,*) dient ihm hier in gleicher Weise zur Untersuchung der durch das Zusammentreffen der Lichtbündel in der Luft erzeugten Streifen. Wenn man sich z. B. mit der Loupe vor den beiden gekreuzten Rhomboedern aufstellt, so empfängt das Auge nur ein gleichförmiges und ununterbrochenes Licht; sobald aber ein Krystall, der zwei Bilder gibt, in passender Weise zwischen der Loupe und jenem Rhomboeder, oder zwischen der Loupe und dem Auge aufgestellt wird, so bemerkt man zwei Systeme heller und dunkler Streifen. Die hellen Streifen des einen Bildes entsprechen stets den dunklen Streifen des andern. Der mittlere Streifen z. B. ist hell in dem regelmäßigen Bilde, wenn der Hauptschnitt des eingeschalteten Krystalles der ursprünglichen Polarisationsebene parallel ist; in dem unregelmäßigen Bilde ist er dann umgekehrt dunkel, was beweist, daß man für dieses letztere Bild die Interferenzwirkungen nur berechnen kann, indem man $^1/_2$ d zur Differenz der durchlaufenen Wege hinzu addirt. Wenn aber der Hauptschnitt des eingeschalteten Krystalles auf der ursprünglichen Polarisationsebene senkrecht steht, so finden sich die Rollen vertauscht: dann ist der centrale Streifen des unregelmäßigen Bildes in Uebereinstimmung mit den allgemeinen Principien der Interferenzen hell, während eben dieser Streifen in dem regelmäßigen Bilde dunkel ist, gerade als ob der Wegeunterschied zwischen den beiden ihn bildenden Strahlen nicht Null, sondern $^1/_2$ d wäre.

*) Siehe oben S. 307.

Fresnel gibt in seiner Abhandlung eine Regel an, die auf alle Azimutallagen, welche die Hauptschnitte der beiden gekreuzten Rhomboeder und des vor das Auge gehaltenen Krystalles in Bezug auf die ursprüngliche Polarisationsebene annehmen können, anwendbar ist, und mittelst deren man leicht findet, ob für die Strahlen des regelmäßigen oder für die des unregelmäßigen Bildes die Größe $^1/_2 d$ zur Differenz der durchlaufenen Wege addirt werden muß.

Im homogenen Lichte ruft der Versuch zwei Systeme heller und dunkler Streifen hervor. Bedient man sich des weißen Lichtes, so werden diese Streifen farbig, weil d für die verschiedenfarbigen Strahlen nicht denselben Werth besitzt, und man bemerkt darin dieselben Farben, welche das polarisirte Licht in dem krystallisirten Blättchen aller möglichen Dicken entwickelt.

Wenige Worte werden jetzt genügen, zu zeigen, wie Fresnel die Entstehung der Farben erklärt.

Ein polarisirter Lichtstrahl, der durch ein krystallisirtes Blättchen geht, theilt sich darin in zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirte Bündel; zwei derartige Bündel interferiren einander aber nicht: ein solches Blättchen wird also mit bloßen Augen betrachtet keine Farben zeigen, selbst wenn es nur durch polarisirtes Licht beleuchtet wird.

Jedes der beiden aus dem ersten Blättchen kommenden Lichtbündel, sowohl das regelmäßige als das unregelmäßige, theilt sich bei seinem Durchgange durch ein achromatisirtes Prisma oder durch ein Kalkspathrhomboeder in zwei rechtwinklig zu einander polarisirte Strahlen. Unter den vier austretenden Bündeln finden sich zwei regelmäßige und zwei unregelmäßige, die wechselseitig einen Einfluß auf einander auszuüben vermögen. Unter den beiden Bündeln nun, welche zur Bildung des regelmäßigen Bildes beitragen, gibt es eins, das beim Durchgange durch das Blättchen das regelmäßige war und auch durch das achromatisirte Prisma als regelmäßiges hindurchgegangen ist, während das andere, das anfangs die unregelmäßige Brechung erlitten hatte, erst durch die Wirkung dieses Krystalles in das regelmäßige Bild übergeführt worden. Die ungleichnamigen Strahlen pflanzen sich aber in den doppeltbrechenden Krystallen mit ungleichen Geschwindig-

keiten fort. Wir haben außerdem gesehen, daß Geschwindigkeitsunterschiede in Bezug auf die Interferenzerscheinungen genau eben solche Perioden hervorrufen, als wie sie aus der Ungleichheit der durchlaufenen Wege entstehen. Wenn also in dem angewandten Blättchen der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten der regelmäßigen Strahlen einer Größe d, welche durch ihre Vielfachen die Perioden der Uebereinstimmung der rothen Strahlen bestimmt, entspricht, so wird man offenbar das Licht dieser Farbe in dem regelmäßigen Bilde vorwalten sehen; in gleicher Weise wird es sich mit den Strahlen aller übrigen Farben verhalten.

Wenn der Versuch mit den beiden gekreuzten Rhomboedern uns nicht gezeigt hätte, daß zur Berechnung der gegenseitigen Einwirkungen der Lichtstrahlen, die beim Durchgange durch doppeltbrechende Krystalle mehrere Male die Polarisationsebene wechseln, die gewöhnlichen Regeln der Interferenz nicht ausreichen, so würden wir hier durch eine große Schwierigkeit gehemmt worden sein. Da nämlich der Geschwindigkeitsunterschied für die zwei Strahlen, woraus bei seinem Austritte aus dem achromatisirten Prisma das unregelmäßige Bild zusammengesetzt wird, und ebenso für die beiden Strahlen des regelmäßigen Bildes gleich groß ist, so hätten diese beiden Bilder mit derselben Farbe erscheinen sollen; erinnern wir uns aber, daß für die Strahlen, welche das eine der Bündel bilden, zu der Differenz der von den Strahlen durchlaufenen Wege noch $\frac{1}{2}d$ hinzuzufügen ist, so werden wir dagegen sehen, daß, weil d in dem regelmäßigen Bilde einer Verstärkung der rothen Strahlen entspricht, $\frac{1}{2}d$ in dem unregelmäßigen Bilde ihre gegenseitige Aufhebung veranlaßt; daß die Farbe, welche das weiße Licht nach Wegnahme des rothen gibt, darin vorherrscht; kurz daß die beiden Bilder des Blättchens beim Betrachten durch das achromatisirte Prisma stets complementär sein werden, was mit den Beobachtungen übereinstimmt. Die Farben sind also durch die Differenzen der Wege der regelmäßigen und unregelmäßigen Strahlen in der Dicke des Blättchens bestimmt, gerade so wie die Farben der gewöhnlichen farbigen Ringe von dem Wegeunterschiede der an der ersten und zweiten Fläche des Luftblättchens reflectirten Strahlen abhängen. Damit man dies nicht für eine bloße

Analogie halte, ſetzen wir hinzu, daß die Differenzen der durchlaufenen Wege, die einer beſtimmten Farbe entſprechen, in beiden Fällen genau dieſelben ſind.

Mit derſelben Leichtigkeit erklärt Fresnel alle andern Umſtände des Phänomens: er leitet z. B. aus ſeiner Theorie die Lagen des Blättchens und des achromatiſirten Prismas her, für welche man in den beiden Bildern keine Farben erblickt, und findet genau die durch die Beobachtung bekannten Lagen; er zeigt ferner, daß die Intenſitätsänderungen, welche von den Aenderungen in dem Azimut des achromatiſirten Prismas oder des Blättchens abhängen, gleichfalls nothwendige Folgerungen aus den Prinzipien der Intenferenzen ſind u. ſ. w.

Um die verwickeltere Frage der gekreuzten Blättchen in paſſender Weiſe zu behandeln, löſt Fresnel zuerſt das folgende allgemeine Problem: „Es ſind die Intenſitäten, die reſpectiven Lagen oder die verſchiedenen Grade der Uebereinſtimmung oder des Gegenſatzes in dem Gange einer beliebigen Anzahl Lichtbündel gegeben, man ſoll die Intenſität des geſammten Lichtes beſtimmen.“ Die Formeln, zu denen er durch eigenthümliche, auf die Wellentheorie gegründete Betrachtungen, die wir aber hier nicht mittheilen können, gelangt, ſind genau dieſelben wie die, welche ihm bereits zur Beſtimmung der Lage und Intenſität der Beugungsſtreifen gedient haben; ſie ſtehen mit den bekannten Verſuchsreſultaten im Einklange. Ein einziger Fall ſchien eine Ausnahme zu machen, nämlich derjenige, wo zwei gleich dicke Blättchen derſelben Subſtanz, deren Flächen parallel mit der Axe gehen, ſo gekreuzt ſind, daß ihre Axen einen Winkel von 45° bilden. Biot gibt an,*) daß wenn der Hauptſchnitt des zur Analyſe des durchge-

*) In Bezug auf die gekreuzten Blättchen ſagt Biot (Traité de physique Bd. 4, S. 407): Wenn die Blättchen in der Weiſe gekreuzt ſind, daß ihre Axen einen Winkel von 45° bilden, „ſo laſſe ich dies zuſammengeſetzte Syſtem ſenkrecht auf dem polariſirten Strahle, der zu ſeiner Einſtellung gedient hat, und analyſire das durchgegangene Licht mittelſt eines achromatiſirten Kalkſpathprismas, deſſen Hauptſchnitt in der urſprünglichen Polariſationsebene liegt. Man findet dann, daß die unregelmäßige Farbe conſtant iſt, welche Lage man auch den Blättchen durch Drehen in ihrer Ebene ertheilen möge....“ Und weiter unten auf S. 407 ſetzt derſelbe hinzu: „Die durch gleiche und unter 45° gekreuzte Blättchen gegebenen Farben ſind nicht nur bei

lassenen Lichtes angewandten Kalkspathrhomboeders parallel oder senkrecht zu der ursprünglichen Polarisationsebene ist, die Farbe jedes Bildes unverändert bleibe, wenn man das System der beiden gekreuzten Blättchen in seiner Ebene drehe. Fresnel's Formeln zeigen dagegen, daß jedes der beiden Bilder nur in den Azimuten von 45°, 90°, 135°, 180° u. s. w. sich selbst völlig gleichen kann; daß aber beide in den Zwischenlagen sich ändern müssen. Bei der Prüfung durch den Versuch ergab sich, daß beide Bilder, das regelmäßige sowohl als das unregelmäßige mit der Bewegung des zusammengesetzten Blättchens sich ändern. Diese Aenderungen sind, wie die Formel nachweist, in Bezug auf die Beschaffenheit der Farbe allerdings sehr schwach; dagegen ist es unmöglich, die Intensitätsänderungen zu verkennen, wenn man homogenes polarisirtes Licht anwendet.

Die in der Abhandlung, welche die Akademie uns zur Prüfung übergeben hat, enthaltenen merkwürdigen Resultate sind neue Beweise der unermüdlichen Ausdauer, der Genauigkeit und des seltenen Scharfsinns ihres Verfassers; Fresnel's Versuche werden in der Folge, wenn die Theorie der Interferenzen neue Entwickelungen und größere Verbreitung erhalten haben wird, einen ausgezeichneten Platz unter den scharfsinnigsten Arbeiten der neueren Physiker einnehmen; von jetzt an ist durch sie festgestellt, daß zwischen den Farbenerscheinungen der krystallisirten Blättchen, und den Phänomenen der gewöhnlichen farbigen Ringe und der Beugung nicht bloße Analogieen, sondern der innigste Zusammenhang stattfindet. Unseres Dafürhaltens beweist Fresnel bis zur Evidenz, daß alle diese Farben bloße Interferenzwirkungen sind. Wir schlagen nichts desto weniger der Akademie nicht vor, sich über eine so schwierige Materie auszusprechen, die vielleicht noch Gegenstand vieler Streitigkeiten unter den Physikern sein wird; unsere Anträge beschränken sich auf das Ansuchen, die wichtige Abhandlung Fresnel's in das Recueil des Savants étrangers aufzunehmen.

---

senkrechter Incidenz constant; sie sind es ebenfalls unter allen Incidenzen und in allen Azimuten, vorausgesetzt, daß der Hauptschnitt des zur Analyse des Lichtes dienenden Kalkspathrhomboeders parallel oder senkrecht zur Ebene des Meridians liegt."

NB. Da mehrere Jahre zwiſchen dem Einreichen der Abhandlungen Fresnel's an die Akademie und der Erſtattung des vorſtehenden Berichtes, deſſen Anträge vom 11. Juni 1821 zum Beſchluß erhoben wurden, verfloſſen ſind, ſo halten wir es für unſere Pflicht, ausdrücklich zu bemerken, daß die uns zur Prüfung übergebene Arbeit aus einer am 7. October 1816 in der Akademie geleſenen Abhandlung und aus einem Supplemente, das am 19. Januar 1818 von Delambre mit ſeiner Namensunterſchrift verſehen war, beſtand. Die zu verſchiedenen Zeiten der Commiſſion ſeitens des Verfaſſers zugeſtellten Notizen wollen wir, obgleich ſie infolge der Discuſſion, welche der Bericht hervorrief, in dem Secretariat des Inſtitut niedergelegt worden, hier nicht weiter einzeln erwähnen, da ſie blos einfache Entwickelungen der in den beiden Schriften von 1816 und 1818 verzeichneten Verſuche enthalten.

XXII.

Prüfung von Biot's Bemerkungen in Betreff des Berichtes über die auf die Farben der kryſtalliſirten doppeltbrechenden Blättchen ſich beziehende Abhandlung Fresnel's.

[Biot hat in der Akademie der Wiſſenſchaften am 11. Juni 1821 eine Abhandlung betitelt: Bemerkungen über einen am 4. Juni 1821 in der Akademie der Wiſſenſchaften von den Herrn Arago und Ampère geleſenen Bericht vorgetragen.

Dieſe Abhandlung Biot's iſt in den 17. Band der damals von Gay-Luſſac und Arago herausgegebenen Annales de chimie et de physique aufgenommen worden.

Arago hat auf dieſe Bemerkungen Biot's durch den hier folgenden Aufſatz geantwortet.

Zum Verſtändniß der Discuſſion ſind einige der im Texte widerlegten Anſichten Biot's in den untergeſetzten Noten wiederholt worden.]

Wenn ich der Veröffentlichung von Biot's Bemerkungen in den Annales de chimie et de physique kein Hinderniß entgegengeſtellt habe, ſo habe ich dagegen mich nicht verpflichtet, ſie unbeantwortet zu

lassen. Ich will daher die in unserm Berichte enthaltenen Einwände anführen, sie mit den ihnen entgegengestellten Argumenten vergleichen, und so den Leser in den Stand setzen, selbst zu beurtheilen, ob sie so aller Begründung entbehren, wie unser gelehrter College es darstellt. Ich hätte sehr gewünscht, mich auf den rein wissenschaftlichen Theil der Discussion beschränken zu können; da aber Biot, während er angibt, daß er sich in keiner Weise mit dem Formellen beschäftigen würde, zwei Mal das Wort Legalität*) ausgesprochen hat, so ist es wichtig für mich, zu beweisen, daß der Bericht nichts Illegales enthielt, und daß er, was man auch darüber sagen möge, keine der in den gelehrten Gesellschaften allgemein angenommenen Regeln verletzte.

Sobald Herr Biot seine Absicht kundgegeben hatte, auf den von Ampère und mir am 4. Juni 1821 vor der Akademie gelesenen Bericht zu antworten, beeilte ich mich, ihm denselben zuzusenden; als weitere Grundlagen fügte ich auch die Schriften Fresnel's hinzu, in

*) Zu Anfang seiner Bemerkungen drückt sich Biot in folgender Weise aus: „Nachdem sich sowohl über den Inhalt als auch über die Form dieses Berichtes eine Discussion erhoben hatte, hielt es auf Antrag der Herren Laplace und Dupin die Akademie für gut, ihre Entscheidung auf die folgende Sitzung zu verschieben, um die Bemerkungen, die ich vorzulegen haben würde, entgegen zu nehmen. Ich übergab ihr dann die folgenden. Ich besprach darin natürlich den Bericht aus zwei verschiedenen Gesichtspunkten, nämlich erstens in Bezug auf die darin enthaltenen wissenschaftlichen Ansichten, und zweitens in Bezug auf seine Uebereinstimmung mit den von den Akademieen angenommenen Regeln, um sich der Billigkeit und Unparteilichkeit ihrer Urtheile zu versichern.

„Da aber die Mitglieder der Commission erklärt haben, daß sie von der Akademie nicht verlangten, sich über den Bericht selbst auszusprechen, sondern nur über die am Schlusse befindlichen Anträge, welche von ihnen in der Weise abgeändert worden waren, daß sie nur noch gerechtes Lob über die Arbeit Fresnel's, dem ich selbst meine Stimme ertheilt habe, ausdrückten: so habe ich hier den letzten Theil meiner Bemerkungen, der sich auf die Legalität des Berichtes bezog, unterdrückt und nur die wissenschaftlichen Betrachtungen beibehalten, die allein werth sind, die Aufmerksamkeit auf sich zu richten."

Am Schlusse seiner Bemerkungen hat Biot hinzugefügt: „Den übrigen Theil dieser Bemerkungen, der sich auf die Legalität des Berichtes, von dem Gesichtspunkte der akademischen Formen aus betrachtet, bezieht, habe ich hier unterdrückt, als jetzt überflüssig geworden, seit die Akademie nur die Anträge des Berichtes und nicht den Bericht selbst angenommen hat."

denen ſich alle Argumente, auf die ich mich geſtützt hatte, entwickelt fanden. Die eine dieſer Schriften (die 1816 der Akademie vorgelegte Abhandlung) war nicht mehr vollſtändig. Ich benachrichtigte Herrn Biot davon, und ließ ihn wiſſen, daß der fehlende Theil ſich in keiner Weiſe auf ſeine Verſuche bezöge, daß er nur die Modificationen behandelte, welche durch die Polariſation in den Interferenzphänomenen hervorgerufen werden, und daß ich folglich daraus keinen Einwand gegen ſeine Theorie der beweglichen Polariſation hätte entnehmen können. Ich gab ferner die Gründe an, die mir die Verpflichtung auferlegt hatten, den erſten Theil der Abhandlung von dem zweiten zu trennen. Da dieſer erſte Theil übrigens ſeit langer Zeit in den Annales de chimie gedruckt war (worin grade der Grund lag, weshalb ich die Aufbewahrung des Manuſcripts nicht für nöthig erachtet hatte), ſo ließ ich Biot ein Exemplar davon zuſtellen. Auf dieſe Weiſe glaubte ich allen Convenienzen genügt und ſelbſt den Schatten eines Einwandes beſeitigt zu haben: vergebliche Mühen! Herr Biot hielt durchaus, ſowohl in der mündlichen Discuſſion, als auch in den geſchriebenen Bemerkungen die Behauptung aufrecht, daß Ampère und ich dadurch, daß wir nur über den zweiten Theil der urſprünglichen Abhandlung unſern Bericht abgeſtattet, die Reglements der Akademie verletzt hätten. Als dieſer gelehrte Phyſiker uns einen ſo wenig gegründeten Vorwurf machte, vergaß er ohne Zweifel, daß den Verfaſſern, die ihre Werke dem Urtheile der Akademie unterwerfen, niemals das Recht ſtreitig gemacht worden iſt, dieſelben zurückzuziehen. Was täglich mit einer ganzen Abhandlung geſchieht, muß um ſo mehr auf ein bloßes Kapitel, auf einen iſolirten Paragraphen anwendbar ſein. Eine Schrift wird offenbar erſt das Eigenthum einer gelehrten Geſellſchaft, nachdem dieſelbe ſich über ihren Werth ausgeſprochen hat; bis dahin kann ſie der Verfaſſer entweder durch neues Nachdenken oder durch die Rathſchläge der Commiſſionsmitglieder eines Beſſern belehrt, nach ſeinem Gutdünken abändern; es würden gleichzeitig der Uſus und die Convenienzen verletzt werden, wenn die Verbeſſerung der Fehler, die eingeſtanden werden, nicht geſtattet ſein ſollte.

Nachdem ich auf ſolche Weiſe im Allgemeinen feſtgeſtellt habe, daß Fresnel das Recht gehabt hätte, einen beliebigen Theil der Ab-

handlung zurückzuziehen oder abzuändern, muß ich mich beeilen zu erklären, daß dieser geschickte Physiker in seiner Arbeit Nichts zu verbessern hatte; daß die Unterdrückung, worüber Herr Biot sich beklagt, von mir allein ausgegangen ist und durch dieselben Reglements geboten war, die man uns so unbegründeter Weise vorwirft verletzt zu haben. Herr Biot, der sich bei seinen wissenschaftlichen Untersuchungen so oft mit nicht der Akademie angehörigen Beobachtern verbunden hat, muß besser als irgend Jemand wissen, daß vor dieser Versammlung niemals über Arbeiten, an denen Akademiker theilgenommen haben, Bericht erstattet wird. Da nun der erste Theil der Abhandlung Versuche enthielt, die Fresnel und ich gemeinschaftlich ausgeführt hatten, so war ich offenbar, sowohl um mich dem Usus anzuschließen, als auch um nicht in eigner Sache als Richter aufzutreten, genöthigt, in dem Berichte nur den auf die Farben der krystallisirten Blättchen bezüglichen Abschnitt zu behandeln.

Man hat von Noten ohne Datum gesprochen. Ich antworte, daß das Datum nur in einer Prioritätsfrage irgend eine Wichtigkeit haben würde: nun habe ich aber bisher nicht gehört, daß irgend ein derartiger Anspruch in Betreff von Fresnel's Experimenten erhoben worden ist. Wenn der Fall in der Folge eintreten sollte, so würde es leicht sein, den Beweis zu führen, daß diese Noten bloße Entwickelungen der ersten 1816 vorgelegten Abhandlung sind. Uebrigens hatte ich sie aus freien Stücken Herrn Biot in der Absicht, ihn bei seinen Untersuchungen zu unterstützen, mitgetheilt, und war, ich gestehe es, sehr weit von dem Gedanken entfernt, daß er glauben würde, darin den Grund eines Vorwurfes zu finden.

Herr Biot sagt, man habe Einwände aus einem im Jahre 1818 deponirten Supplemente, das sich nicht auf die Hauptabhandlung beziehe, entlehnt: die Thatsache ist richtig, aber ich vermag nicht zu errathen, welchen Schluß er daraus ziehen will. Fresnel hat zwei Abhandlungen eingereicht; die mit ihrer Prüfung beauftragten Mitglieder der Commission hatten ursprünglich beide in einen und denselben Bericht zusammengefaßt. Später hielten sie es, sowohl um die Aufmerksamkeit der Akademie nicht zu ermüden, als auch um über einen so verwickelten Gegenstand die möglichste Klarheit zu verbreiten, für

angemeſſener, die auf die bewegliche Polariſation bezüglichen Facta von einer zweiten Klaſſe von Phänomenen zu trennen, die mit dieſer Theorie nur auf ſehr entfernte Weiſe zuſammenhängen, und über die ſie einen beſondern Bericht beabſichtigten. Ich zweifle nicht, daß hierin eine flagrante Irregularität vorliegt, weil Herr Biot es behauptet; doch geſtehe ich, daß ich bis jetzt noch nicht vermocht habe, dieſelbe zu bemerken. Dagegen ſcheint es mir evidenter, daß unſer gelehrter College, indem er ſich ſo kleinlich an die Formen klammert, den Gedanken hervorruft, als ob ihm die Argumente, die man ſeiner Theorie entgegengeſtellt hat, im Grunde viel ſolider erſchienen, als er anzuerkennen ſich das Anſehen gibt.

Der lange Zeitraum, welcher zwiſchen der Präſentation von Fresnel's Abhandlung und unſerm Berichte verfloſſen, iſt ebenfalls Gegenſtand einiger kritiſcher Bemerkungen geweſen, deren Zweck ich nicht zu errathen vermocht habe. Ich würde es z. B. begriffen haben, wenn Herr Biot die Ungenauigkeiten, in welche wir ſeiner Anſicht nach gefallen ſein ſollen, der Eile unſerer Arbeit zugeſchrieben hätte; iſt es aber verſtändlich, wenn man uns beſchuldigt, verſchiedene Verſuche ſchlecht interpretirt zu haben, gleichzeitig die Anklage zu inſinuiren, daß die Prüfung, die wir übernommen, nicht prompt genug geweſen ſei? Uebrigens erkläre ich hier, ebenſo wie ich es bereits vor der Akademie gethan habe, frei heraus, daß die lange Verzögerung, die man uns vorwirft, hauptſächlich durch den Wunſch veranlaßt worden iſt, die Discuſſion, in die ich mich jetzt verwickelt finde, zu vermeiden. Die Abhandlungen, die Herr Biot über die Theorie der beweglichen Polariſation veröffentlicht hat, würden mehr als zwei ſtarke Quartbände bilden. Dies wäre ſicherlich nicht zu viel, wenn dieſe Abhandlungen, wie man behauptet hat, bewieſen, daß die Lichtmolecüle bei ihrem Durchgange durch die Kryſtalle um ſich ſelbſt nach Art eines Pendels oſcilliren; während das Alles ohne Schwierigkeit auf einige vierzig Seiten reducirt erſcheint, wenn Fresnel's Einwände gegründet ſind. Es ſtand daher ſehr zu vermuthen, daß wir, falls wir ein günſtiges Urtheil über die Arbeit dieſes jungen Phyſikers fällten, die Zuſtimmung unſeres gelehrten Collegen nicht erhalten würden. Auch würde ich vielleicht noch lange gezögert haben, die Aufmerkſamkeit der Akademie auf dieſen Gegenſtand

zu richten, wenn nicht Herr Biot ſelbſt ganz neuerlich Fresnel veranlaßt gehabt hätte, mich zur Abſtattung des Berichtes dringend aufzufordern. Ich glaubte alſo, wie ich geſtehen muß, daß Herr Biot, dem die Abhandlung früher mitgetheilt worden war, die Einwürfe, die ſie enthielt, zugeſtände. Heute iſt aber völlig klar, daß ich ſeinen Schritt falſch ausgelegt hatte; man wird indeß einräumen, daß mein Irrthum verzeihlich war.

Nachdem ich im Vorſtehenden die verſchiedenen uns gemachten Vorwürfe beantwortet habe, werde ich meinerſeits, bevor ich auf den Grund der Frage eingehe, einige Ausdrücke des ſo eben geleſenen Aufſatzes discutiren. „Da aber die Mitglieder der Commiſſion, ſagt Herr Biot, erklärt haben, daß ſie von der Akademie nicht verlangten, ſich über den Bericht ſelbſt auszuſprechen, ſondern nur über die am Schluſſe befindlichen Anträge u. ſ. w.“ Die Mitglieder der Commiſſion haben in keiner Weiſe vergeſſen, daß die Akademie ſich einzig und allein über die Schlußanträge ausſpricht; niemals haben ſie auf etwas Anderes Anſpruch erhoben, und es iſt ſehr unbegründet, wenn man ihnen eine angebliche Erklärung zuſchreibt, aus der hervorzugehen ſcheinen würde, daß ſie urſprünglich mit dem üblichen Brauche in Widerſpruch ſtehende Forderungen gemacht hätten. Was Herrn Biot betrifft, ſo wollte er zuerſt, ich ſage nicht unſere Arbeit verwerfen laſſen, was ihm ſicherlich wohl nicht geſtattet worden wäre, aber doch von der Akademie erlangen, daß ſogar der Titel Bericht geſtrichen würde. Nachdem dieſer Vorſchlag keine Folge gehabt hatte, beſchränkte ſich Herr Biot darauf, die Unterdrückung verſchiedener von ihm angezeigter Stellen zu verlangen. Wie es meine Pflicht war, wies ich dieſe neuen Forderungen kräftig zurück, und um die bereits lange geführte Discuſſion abzuſchneiden, machte ich darauf aufmerkſam, daß die verlangten Modificationen ſich auf den eigentlichen Bericht bezögen, d. h. auf einen Theil, über den nach der althergebrachten Sitte, welche die Akademie erſt bei einem ganz vor Kurzem eingetretenen Falle von Neuem ſanctionirt habe, dieſelbe ſich nicht auszuſprechen hätte. Wenn dies es iſt, was Herr Biot die Erklärung der Mitglieder der Commiſſion nennt, ſo muß ich bemerken, daß er eine ungeeignete Bezeichnung gebraucht hat, weil ſie zu dem Glauben verleiten würde, als ob Ampère und

ich eingewilligt hätten, von der gewöhnlichen Regel abzugehen; was der Wahrheit entgegen ist. Indem ich einen ausführlichen Bericht über Fresnel's Abhandlung erstattete, erfüllte ich eine Pflicht, die mir auferlegt worden war; indem ich beharrlich diese wichtige Arbeit im Schooße der Akademie gegen die Angriffe eines Akademikers vertheidigte, glaubte ich den Wissenschaften einen Dienst zu leisten. Ohne vorhersagen zu wollen, welche Entscheidung die Versammlung getroffen haben würde, wenn ihre Reglements ihr nicht vorschrieben, sich auf die Schlußanträge des Berichts zu beschränken, kann ich sagen, daß das Wohlwollen, womit sie mich bei der Lesung und während der Discussion beehrte, mir zu glauben gestattete, daß eine offene Kritik ihr nicht, wie Herrn Biot, als eine Verletzung der akademischen Formen erschien. Wer würde mich also in der zweiten Sitzung zu dem zurückweichenden Schritte, den man mir zuschreibt, gezwungen haben? Wie sollten meine Rechte vom 4. bis 11. Juni schwächer geworden sein? Allerdings ließ man mich in diesem Zeitraume schriftlich wissen, daß wenn ich darauf einginge, den Bericht zurückzuziehen, man die Gewitter, welche mir drohten, zurückhalten würde. Friede und Ruhe sind sehr wünschenswerthe Güter; Herr Biot muß sich aber erinnern, daß ich um den Preis eines solchen Zugeständnisses nicht geneigt bin, sie zu erwerben.

Noch ein Wort, und ich komme zu dem wissenschaftlichen Theile der Discussion. In jener zweiten Sitzung, wo Herr Biot Ampère und mich die Rolle der reuigen Sünder spielen lassen zu wollen scheint, hätten wir, wie er sagt, die Schlußanträge dergestalt abgeändert, „daß sie nur noch gerechtes Lob über die Arbeit Fresnel's ausdrückten." Was drückten also die ursprünglichen Anträge aus? Der Leser soll selbst darüber urtheilen.

Am 11. Juni von der Akademie angenommene Anträge. — „Die in der Abhandlung, welche die Akademie uns zur Prüfung übergeben hat, enthaltenen merkwürdigen Resultate sind neue Beweise der unermüdlichen Ausdauer, der Genauigkeit und des seltenen Scharfsinnes ihres Verfassers; Fresnel's Versuche werden in der Folge, wenn die Theorie der Interferenzen neue Entwickelungen und größere Verbreitung erhalten haben wird, einen ausgezeichneten Platz unter

den scharfsinnigsten Arbeiten der neueren Physiker einnehmen; von jetzt an ist durch sie festgestellt, daß zwischen den Farbenerscheinungen der krystallisirten Blättchen und den Phänomenen der gewöhnlichen farbigen Ringe und der Beugung nicht bloße Analogieen, sondern der innigste Zusammenhang stattfindet. Unseres Dafürhaltens beweist Fresnel bis zur Evidenz, daß alle diese Farben bloße Interferenzwirkungen sind. Wir schlagen nichts desto weniger der Akademie nicht vor, sich über eine so schwierige Materie auszusprechen, die vielleicht noch Gegenstand vieler Streitigkeiten unter den Physikern sein wird. Unsere Anträge beschränken sich auf das Ansuchen, die wichtige Abhandlung Fresnel's in das Recueil des Savants étrangers aufzunehmen.

In der Sitzung am 4. Juni vorgelesene Anträge. — „Die Abhandlung, worüber wir so eben der Akademie Bericht erstattet haben, zeigt auf unbestreitbare Weise die Entstehungsart der Farben, welche die doppeltbrechenden Blättchen entwickeln, wenn man sie einem polarisirten Lichtbündel aussetzt, und dann die durch sie hindurchgegangenen Strahlen mittelst eines Kalkspathrhomboeders oder eines achromatisirten Prismas spaltet. Fresnel beweist auch, daß zwischen diesen Phänomenen und den Erscheinungen der farbigen Ringe und der Beugung nicht bloße Analogieen, sondern der innigste Zusammenhang stattfindet. Die schwierigen, zahlreichen und mannigfach abgeänderten Versuche, auf welche sich seine Resultate stützen, sind ein neuer Beweis der unermüdlichen Ausdauer, der Genauigkeit und des seltenen Scharfsinnes ihres Verfassers. Wir glauben, daß diese Versuche in der Folge, wenn die Theorie der Interferenzen neue Entwickelungen und größere Verbreitung erhalten haben wird, einen ausgezeichneten Platz unter den wichtigsten Arbeiten der neuern Physiker einnehmen werden. Wir schlagen folglich der Akademie vor, der Abhandlung, welche sie uns zur Prüfung übergeben hatte, ihre Approbation zu ertheilen, und zu beschließen, daß sie in dem Recueil des Savants étrangers gedruckt werde."

In dieser Fassung schlugen wir der Akademie vor, sich über das Verdienst der Abhandlung auszusprechen, derselben ihre Approbation zu ertheilen. Wir glaubten damals, daß die Frage Gegenstand einer

gegenseitigen Discussion werden würde. So groß werden unserer Ansicht nach die Klarheit der Fresnel'schen Versuche, so groß die Evidenz der daraus gezogenen Folgerungen, daß wir hofften, selbst diejenigen, die sich auch noch so wenig mit Optik beschäftigt hatten, unsere Ueberzeugung theilen zu sehen.

Von den ersten Worten der Entgegnung Biot's an war es mir aber klar, daß der Kampf, auf welchen ich gefaßt war, kein Resultat haben und sich mehr auf das, was man Irregularitäten in der Form nannte, als auf den Grund der Frage selbst wenden würde.

Da Ampère und ich nicht die Anmaßung besaßen, aufs Wort Resultate annehmen zu lassen, die seitens eines Physikers von Biot's Verdienst bestritten wurden, so änderten wir sofort unsere Anträge in der Weise, daß die Akademie sich nur noch über das gerechte Lob, worauf Fresnel ein Recht hatte, aussprechen sollte. Der Leser wird bemerkt haben, daß grade bei der Anbringung dieser Modificationen wir den Ausdruck unserer persönlichen Ueberzeugung, daß die Theorie der beweglichen Polarisation irrig ist, stärker hervorhoben. Es ist noch übrig zu prüfen, ob die neuen Bemerkungen Biot's uns nöthigen werden, an unserer ersten Ansicht irgend Aenderungen anzubringen.

Beim Lesen der Bemerkungen Biot's ward ich unwillkürlich an das kleine, unter dem Namen propos interrompus bekannte Gesellschaftsspiel erinnert, bei dem man aufs Gerathewohl auf eine Frage, die man nicht gehört hat, eine Antwort geben muß. Ich habe die Unrichtigkeit der Theorie der beweglichen Polarisation durch directe, positive Versuche dargethan: man setzt mir eine große Dissertation über die Theorie der Newton'schen Anwandlungen entgegen, über die ich nicht ein Wort gesagt habe. Wenn ich die Frage nach der Polarisationsrichtung in den dünnen Blättchen untersuche, so antwortet man, daß empirische Formeln, von denen ich weder im Guten noch im Bösen geredet habe, genau die Aufeinanderfolge der Farben darstellen. Herr Biot setzt hinzu, was ich durchaus nicht bestritten habe, daß seine Werke Fresnel einige Hülfe haben gewähren können; daß er sogar schriftliche Documente besitze, worin man ihm diese Gerechtigkeit zu Theil werden lasse, u. s. w. Ich will hier nicht auf solche Abschweifungen eingehen; denn außerdem daß ich den Zweck derselben nicht wohl errathe, würden sie

offenbar nur zur Verdunkelung der vorliegenden Frage dienen. Ich habe mehrere Verſuche angeführt, die mir in offenbarem Widerſpruche mit der Theorie der beweglichen Polariſation erſchienen; wir wollen ſie wiederholen und ſehen, welche Antwort man darauf gegeben hat.

An zehn verſchiedenen Orten ſeiner Werke ſagt Biot klar, daß ein polariſirter Strahl einfachen Lichtes, der durch ein doppelbrechendes kryſtalliſirtes Blättchen hindurchgeht, bei ſeinem Austritte vollſtändig in der urſprünglichen Ebene, oder in dem Azimut 2i polariſirt ſei. Fresnel hat die Richtigkeit dieſes Princips beſtritten; während der mündlichen Discuſſion vor der Akademie blieb Biot bei ſeiner Anſicht, und ſchrieb das, was er unſern Mißgriff nannte, dem Mangel an Homogeneität des durch das angewandte rothe Glas durchgelaſſenen Lichtes zu. Jetzt erklärt er in ſeinen Bemerkungen,*) daß „er nicht

*) Biot hat ſich folgendermaßen ausgedrückt: „Wenn die Erweiterung der einfachen Ringe wenig beträchtlich iſt, oder wenn ſelbſt bei einer größern Ausdehnung von Ringen das einfache Licht jeder Farbe bei ſeinem Eintritte in das Mittel zwiſchen allen Phaſen der gemeinſchaftlichen Anwandlung zum Durchgehen ſich ungleich vertheilt findet, dergeſtalt, daß die größte Zahl von Lichtmolecülen ſich dann um die Mitte dieſer Anwandlung befindet, und die andern nach einer ſchnell abnehmenden Progreſſion unter die übrigen Phaſen derſelben Anwandlung vertheilt ſind, — in dieſem Falle würden, obgleich die Reflexion bei irgend einem Molecüle faſt vom Anfang des Mittels an eintreten könnte oder in Wirklichkeit einträte, und ſich ebenſo auf andere Molecüle längere Zeit als bei den durch wenig energiſche reflectirende Kräfte erzeugten farbigen Ringen fortſetzte, doch wegen der kleinen Zahl dieſer extremen Molecüle die zuſammengeſetzten Farben, ſowohl die reflectirten als die durchgelaſſenen, von der Newton'ſchen Tafel noch ſehr wenig abweichen, ſo daß der Unterſchied der einen von den andern nicht bemerkt werden könnte, beſonders wenn man ihn nicht vermuthete. Das einzige Mittel dieſen Unterſchied zu entdecken, würde alſo darin beſtehen, direct die Intenſitäten der reflectirten und der durchgelaſſenen Ringe in den verſchiedenen Phaſen ihres Fortſchreitens zu unterſuchen, indem man ſie mit einem ſtreng homogenen Lichte darſtellte. Man würde dann den Anfang der Reflexion und der Durchlaſſung jedes Molecüls auf ſeinen eigenen Urſprung anzuwenden (appliquer) haben, der durch die eigenthümliche Phaſe der Anwandlung zum Durchlaſſen, worin es ſich unmittelbar nach ſeinem Eintritte in das brechende Mittel findet, beſtimmt wird; worauf nur noch übrig bleiben würde, von dieſem Urſprunge ausgehend, auf jedes Molecül die ſtreng gleichen Abwechſelungen in den Anwandlungen, welche ſeiner eigenen Brechbarkeit entſprechen, periodiſch und unbegrenzt anzuwenden. Nun, auf dieſe Weiſe, und zwar genau ſo, muß man meiner Anſicht

erſtaunt geweſen iſt zu ſehen, daß ein in gewiſſen Fällen durch dieſe (dünnen) Blättchen durchgelaſſenes homogenes Lichtbündel ſich bei ſeinem Fortſchreiten zwiſchen den beiden darin beobachteten Polariſationsrichtungen ſpalte und theile;" was ſoviel iſt, als zu ſagen, daß er nicht erſtaunt geweſen iſt, daß Fresnel Recht habe. Wenn ich für meine Perſon hier über etwas ſtaune, ſo iſt es über die große Beſcheidenheit Biot's. Bevor ich glaubte, daß ein ſo geſchickter Phyſiker in einen ſolchen Irrthum gefallen wäre, war es mir, ich geſtehe, nothwendig erſchienen, ſeine Verſuche mehrere Male zu wiederholen, und nicht ohne vieles Zaudern gab ich endlich der Evidenz der Thatſachen nach. Auch will ich, indem ich im Intereſſe der Wiſſenſchaften von dem kurz zuvor angeführten Zugeſtändniſſe Act nehme, in Bezug auf die Dunkelheit, in welche man es eingehüllt hat, kein Wort verlieren. Ich will nicht weiter die Verſuche hervorheben, die man gemacht hat, um den Glauben zu erregen, daß man, indem man das Geſetz des Azimuts Ai ausſprach, beabſichtigte von einem iſolirten Molecüle, und nicht von einem Strahle zu reden: dieſe verſpätete Verſion würde überdies auch keinen Glauben bei den Männern finden, welche Gelegenheit gehabt haben, zu bemerken, mit welchen umſtändlichen Details alle Polariſationsverſuche in den Biot'ſchen Werken vorgetragen ſind, und welche Klarheit dieſer ausgezeichnete Schriftſteller, wenn er will, über die ſchwierigſten Theorieen zu verbreiten weiß.

Als ich in dem Berichte von den Formeln ſprach, welche Fresnel gegeben hat, um die mannigfachen Aufeinanderfolgen von Farben,

nach die Abwechſelungen in der Polariſation, welche bei kryſtalliſirten Blättchen beobachtet werden, analyſiren, und wird dann nicht erſtaunt ſein zu ſehen, daß ein in gewiſſen Fällen durch dieſe Blättchen durchgelaſſenes homogenes Lichtbündel ſich bei ſeinem Fortſchreiten zwiſchen den beiden darin beobachteten Polariſationsrichtungen ſpaltet und theilt, wie Fresnel gegen die Vorſtellung einer intermittirenden und abwechſelnden Polariſation als Einwand braucht. Daraus, daß dieſes Licht, ſelbſt wenn man es ſtreng identiſch in ſeiner Natur vorausſetzt, beim Eintritt in dieſe Blättchen nicht alle ſeine Theilchen genau in derſelben Phaſe von Anwandlung hat, folgt, daß die einen ihre Abwechſelungen in der Polariſation früher, die andern ſpäter beginnen, je nach dieſem Zuſtande, ſo daß die Intermittenz nicht für das ganze Bündel, welches ſie bilden, eintritt und nicht eintreten kann, ſondern nur für jedes derſelben einzeln."

welche die kryſtalliſirten Blättchen erzeugen, darzuſtellen, mußte ich, um jedem Einwande zuvorzukommen, bemerklich machen, daß der Widerſpruch zwiſchen dieſen Formeln und einem Verſuche Biot's im Falle der gekreuzten Blättchen einzig und allein an der Ungenauigkeit des Verſuches lag. Da man jetzt dieſe Ungenauigkeit zugeſteht,*) ſo werde ich ſehr gern einräumen, daß Biot ſelbſt ſie vor mehreren Jahren erkannt hatte, vorausgeſetzt, daß er zugeſtehen will, daß ſie in ſeinen gedruckten Werken noch nicht verbeſſert worden iſt.

Unter allen Vorwürfen, die Herr Biot mir macht, iſt einer, der mir ſehr empfindlich geweſen ſein würde, falls ich ihn verdient hätte, nämlich der Vorwurf der Ungenauigkeiten, die Biot in dem Berichte „in Bezug auf die hiſtoriſche Reihenfolge, in welcher die ſucceſſiven Arbeiten darin dargeſtellt ſind" bemerkt zu haben angibt. Worin kann aber der Grund eines ſolchen Vorwurfs liegen? Da die Verſuche Fresnel's, die ich angeführt habe, die directe Kritik von Biot's Verſuchen ſind, ſo kann, wie mir ſcheint, Niemand bezweifeln, daß letztere die ältern ſind! Uebrigens bin ich bereit in dieſer Beziehung allen Anforderungen, die man ſtellen will, Genüge zu leiſten. Um dies zu beweiſen, will ich hier einige hiſtoriſche Details über den Verſuch mit den gekreuzten Blättchen aufnehmen, die mir anfänglich überflüſſig erſchienen waren, in denen man aber jetzt den Beweis meines guten Willens ſehen wird.

Irre ich nicht, ſo hat Biot von dieſem Verſuche zum erſten Male in einer am 1. Januar 1813 vor der Akademie geleſenen und in dem 1814 erſchienenen Werke: Recherches expérimentales et mathématiques sur

*) Biot drückt ſich folgendermaßen aus: „Man hat in dem Berichte einen andern Einwand gegen die Geſetze der beweglichen Polariſation erhoben, der von einem Widerſpruche hergenommen iſt zwiſchen dieſen Geſetzen und dem Verſuche in dem Falle, wo das Licht durch zwei gleiche Gypsblättchen, deren Axen unter einem Winkel von 45° gekreuzt ſind, gegangen iſt. Vor mehreren Jahren habe ich mich gegen Fresnel über dieſen ſcheinbaren Widerſpruch erklärt. Er rührt von einer ungenauen Anwendung her, die ich unter dieſen Umſtänden von den von mir gefundenen Geſetzen gemacht hatte. Indem ich dieſe Anwendung verbeſſerte, habe ich mich ſeit langer Zeit überzeugt, daß meine Formeln in dieſem Falle dieſelben Intenſitätsänderungen geben, die Fresnel wahrgenommen hatte."

les mouvements des molécules de lumière autour de leur centre de gravité gedruckten Abhandlung geſprochen. Auf S. 285 dieſes Werkes ſteht, daß die durch zwei Blättchen, welche gleiche Dicke beſitzen und unter 45° gekreuzt ſind, erzeugten Farben nach der Theorie keine Aenderung erleiden dürften, wenn man ſie in ihrer eigenen Ebene dreht. Der Verſuch zeigte merkliche Aenderungen: Biot bemerkte ſie, ſtellt ſie aber als Anomalieen dar, deren Grund ihm nicht recht bekannt ſei. Im Jahre 1816 exiſtirte dieſer Widerſpruch zwiſchen der Theorie und dem Verſuche nicht mehr, die Theorie hatte Recht, die Bewegung der Blättchen ließ die Farben conſtant, die Anomalieen waren gänzlich verſchwunden (Vergl. Traité de physique Bd. 4, S. 407); jetzt hat man die Unvollkommenheit der Formeln erkannt, die Farbenänderungen exiſtiren nicht blos (was 1816 geleugnet worden war), ſondern ſind reell und rühren von den Unvollkommenheiten des Verſuchs her, wie man 1813 vermuthete. Vielleicht täuſche ich mich, aber es ſcheint mir ſelbſt heute, daß ſolche hiſtoriſche Details nicht in einen vor der Akademie erſtatteten Bericht eintreten ſollten. Iſt es überdies nicht klar, daß ſie der Theorie der beweglichen Polariſation eher entgegen als günſtig ſind, und daß wenn ſie etwas beweiſen, dies nur die große Beweglichkeit von Biot's Ideen iſt?

Fresnel's Abhandlung enthält einen Hauptverſuch, aus welchem mir mit mathematiſcher Strenge die Folgerung hervorzugehen ſcheint, daß die dünnen Blättchen auf das Licht wie dicke Kryſtalle wirken, und ſich beſtändig in zwei rechtwinklig auf einander polariſirte Bündel theilen. Iſt dieſe Thatſache richtig, ſo iſt es die Theorie der beweglichen Polariſation nicht; denn niemals iſt zwiſchen einem Syſteme und dem Verſuche der Widerſpruch offenbarer geweſen. Würde nicht in einer Widerlegung des Berichtes, die faſt vier und dreißig Seiten umfaßt, und wo man ſoviel Abſchweifungen bemerkt, Biot wenigſtens in einigen Zeilen haben zeigen müſſen, wie er die von ihm angegebene Entſtehungsart der Farben mit dem conſtanten Vorhandenſein der zwei ſenkrecht auf einander polariſirten Bündel in den Kryſtallen von allen Dicken vereinigt? Immer iſt gewiß, daß Ampère und ich berechtigt ſind, ſelbſt nach der Veröffentlichung von Biot's Bemerkungen zu erklären, daß alle unſere Einwürfe fortbeſtehen.

Herr Biot hat seinen Bemerkungen eine lange Anmerkung beigefügt, um zu beweisen, daß die Formeln der Abhandlung nicht genau die Farben der gewöhnlichen farbigen Ringe darstellen. Da diese Anmerkung sich nicht auf unsern Bericht bezieht, so habe ich nicht nöthig, mich damit zu beschäftigen: Fresnel, den sie betrifft, wird darauf antworten. Ich würde selbst in aller Strenge es gänzlich vermeiden können, von den Formeln zu reden, da sie nicht den discutirten Gegenstand bildeten; ich kann aber nicht umhin, das eigenthümliche Mittel anzugeben, wie ich es bereits vor der Akademie gethan habe, das Biot anwendet, um zu zeigen, daß seine Formeln mit den Fresnel'schen identisch seien.

Der algebraische Ausdruck, den Biot für den regelmäßigen Strahl gibt, besteht*) aus einem ersten Gliede, in dem sich $\cos^2\alpha$, und aus einem zweiten, in dem sich $\cos^2(\alpha - 2i)$ findet. Die Coefficienten O und E, welche als Factoren neben diesen Cosinus stehen, sind, was Biot nennt, Thatsachen (faits):**) man berechnet ihren Werth für jeden besondern Fall mittelst der Newton'schen Tafel der farbigen Ringe. Die Fresnel'sche Formel enthält, wenn man sie entwickelt, ebenso wie die zuvorerwähnte Glieder mit $\cos^2\alpha$ und $\cos^2(\alpha - 2i)$, aber ihre Coefficienten sind analytische Ausdrücke, Functionen von Größen, welche die optischen Eigenschaften der Blättchen und der farbigen Strahlen bedingen. Was thut jetzt Biot?***) Er stellt diese beiden Coef-

*) Für die Intensität des regelmäßigen Bildes F_o und für die des unregelmäßigen Bildes F_e hat Biot folgende Formeln gegeben:

$$F_o = O\cos^2\alpha + E\cos^2(\alpha - 2i),$$
$$F_e = O\sin^2\alpha + E\sin^2(\alpha - 2i),$$

wo i den Winkel zwischen dem Hauptschnitte des dünnen Blättchens und der Richtung der ursprünglichen Polarisation, und α den Winkel des Hauptschnittes des Prismas mit eben derselben Polarisationsrichtung bezeichnet.

**) Biot sagt: „Es gibt indeß einen wesentlichen Unterschied zwischen meinen und Fresnel's Formeln: in meinen Formeln sind nämlich die Coefficienten O und E Thatsachen (faits), anstatt daß sie in den seinigen hypothetische Ausdrücke darstellen."

***) Biot drückt sich folgendermaßen aus: „Die durch jede Art einfachen Lichtes gegebenen Intensitäten F_o und F_e des regelmäßigen und des unregelmäßigen Bildes werden nach Fresnel durch die folgenden Formeln ausgedrückt:

ficienten durch O und E dar, d. h. durch die beiden Buchstaben, deren er sich bereits früher bedient hatte, und zieht daraus den Schluß, daß

$$F_o = \cos^2 \alpha - \sin 2i \sin 2 (i - \alpha) \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right),$$

$$F_e = \sin^2 \alpha + \sin 2i \sin 2 (i - \alpha) \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right);$$

o — e bezeichnet den Unterschied der von dem regelmäßigen und dem unregelmäßigen Bündel, die sich interferiren, in dem krystallisirten Blättchen durchlaufenen Wege; und λ ist die Länge einer Welle für die Art von Licht, welches sie bildet; welche Länge man in diesem Systeme genau vier Mal so groß nimmt, als diejenige, welche Newton den Intermittenzen der Zurückwerfung und Durchlassung, die er Anwandlungen genannt hat, beilegt. Bildet man die Werthe der Glieder

$$\sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \text{ und } \cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

für alle Arten von Strahlen des Spectrums, so wird die Summe der F_o und der F_e die Zusammensetzung und die gesammte Intensität der zwei Farben ausdrücken, in welche sich ein weißer Strahl zerlegt, wenn er nach dem Durchgange durch das krystallisirte Blättchen in dem zur Analyse seiner Polarisation dienenden Kalkspathprisma zerlegt wird. In jedem dieser partiellen Ausdrücke kann man nun anstatt des Produkts $\sin 2i \sin 2 (i - \alpha)$, den gleichen Werth

$$\cos^2 \alpha - \cos^2 (\alpha - 2i) \text{ oder } \sin^2 (\alpha - 2i) - \sin^2 a$$

setzen, wodurch die Werthe von F_o und F_e werden:

$$F_o = \cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \cos^2 \alpha + \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \cos^2 (\alpha - 2i),$$

$$F_e = \cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \sin^2 \alpha + \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \sin^2 (\alpha - 2i).$$

Wenn man nun durch O die Summe der Werthe von

$$\cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

und durch E die Summe der Werthe von

$$\sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

in Bezug auf alle Strahlen des Spectrums darstellt, so erhält man, wenn das einfallende Licht weiß ist,

$$F_o = O \cos^2 \alpha + E \cos^2 (\alpha - 2i)$$

$$F_e = O \sin^2 \alpha + E \sin^2 (\alpha - 2i).$$

„Diese Ausdrücke sind völlig identisch mit denen, die wir aus directer Betrachtung der Erscheinungen für das weiße Licht hergeleitet haben.“

ſeine Formeln mit den Fresnel'ſchen identiſch ſeien! Ich gebe gern zu, daß das zur Beſtimmung der Farbe der Blättchen von Biot angegebene Verfahren (ich ſage nicht die Formel) genau iſt; dies rührt allein davon her, daß man in jedem Falle die Anfangsfarbe in der Newton'ſchen Tafel aufſucht. Um aber darzuthun, daß beide Formeln identiſch ſeien, hätte man meines Erachtens nach durch bloße Transformationen die eine auf die andere zurückführen und auf dieſe Weiſe genau dieſelben Glieder finden müſſen. Ich will meine Gedanken noch deutlicher machen, indem ich aus Biot's eigenen Werken ein Beiſpiel entlehne.

Bezeichnet man mit i den Winkel, welchen die Magnetnadel mit dem Horizonte macht, und mit λ die magnetiſche Breite, ſo findet man, daß dieſe beiden Größen unter einander durch die Formel verknüpft ſind:

$$\operatorname{tg}(i+\lambda) = \frac{\sin 2\lambda}{\cos 2\lambda - 1/3}$$

Dieſe Formel rührt von Biot her.

Mittelſt rein analytiſcher Transformationen, welche aus mir unbekannten Gründen dieſer berühmte Phyſiker nicht hat ausführen wollen, hat ein amerikaniſcher Mathematiker, Bowditch, den vorſtehenden Ausdruck auf die Formel

$$\operatorname{tg} i = 2 \operatorname{tg} \lambda$$

zurückgeführt.

In dieſem Falle kann man in aller Strenge ſagen, daß die beiden Formeln identiſch ſind, obgleich die zweite einfacher und zugleich eleganter iſt als die erſte; die Discuſſion aber, welche Biot auf die Polariſationsformeln anwendet, gehört offenbar nicht zu dieſer Art, weil alle ſeine Transformationen ſich als letztes Reſultat darauf reduciren, die beiden Buchſtaben O und E an die Stelle der zuſammengeſetzten Coefficienten der Fresnel'ſchen Formel zu ſetzen.

XXIII.

Bericht über eine auf die Doppelbrechung bezügliche Abhandlung Fresnel's.*)

Bekanntlich beſitzen viele Kryſtalle die beſondere Eigenthümlichkeit,

*) Vorgetragen in der Akademie der Wiſſenſchaften am 19. Auguſt 1822 im

jedes durch sie hindurchgehende Lichtbündel in zwei zu spalten. Lange Zeit hindurch waren die Physiker unter sich über die mathematischen Gesetze, nach denen jene Spaltung erfolgt, nicht einig. Aber Alle ohne Ausnahme hatten angenommen, daß eine Hälfte des einfallenden Lichtes in dem Krystalle dem von Descartes entdeckten Gesetze gemäß gebrochen würde, und bezeichneten dieses Bündel mit dem Namen des regelmäßigen oder gewöhnlichen. Der Hauptzweck von Fresnel's Abhandlung ist, zu zeigen, daß es in gewissen Krystallen, die man zweiarige nennt, keinen regelmäßigen oder gewöhnlichen Strahl im eigentlichen Sinne gibt, oder mit andern Worten, daß im Allgemeinen kein Theil des durch sie hindurchgehenden Lichtes nach dem gewöhnlichen Gesetze des Sinus gebrochen wird.

Bevor ich auf eine Analyse der wichtigen Arbeit Fresnel's eingehe, dürfte es nützlich sein, daran zu erinnern, daß es in allen doppeltbrechenden Krystallen besondere Richtungen gibt, in denen kein Doppelbild entsteht. Diese Richtungen heißen Axen. In gewissen Krystallen, wie z. B. im kohlensauren Kalke, im Quarz u. s. w. findet man nur eine einzige Axe; in andern, wie im Topase, kennt man dagegen zwei. Niemand hat bis jetzt Krystalle mit drei Axen gesehen, und es ist sehr zweifelhaft, ob solche überhaupt existiren.

Man hat bis jetzt nur zwei verschiedene Methoden, um die brechende Kraft der Körper zu messen, entdeckt. Bei der einen, welche fast alle Physiker angewandt haben, verfolgt man die Strahlen in den Ablenkungen, die sie beim Durchgange durch Prismen erleiden. Man leitet daraus für eine gegebene Neigung die Einfalls- und die Brechungswinkel, und somit auch das Verhältniß der Sinus her. Bei der zweiten viel weniger bekannten bestimmt man direct die Aenderung, welche ein Strahl beim Uebergange aus dem leeren Raume in das Mittel in seiner Geschwindigkeit erleidet. Welches System über die Natur des Lichtes man aber auch annehmen möge, so geben doch diese beiden Bestimmungen dasselbe Resultat. Da der Verfasser der Abhandlung sich fast ausschließlich der zweiten Methode bedient hat, so

---

Namen einer aus Fourier, Ampère und Arago (als Berichterstatter) bestehenden Commission.

wollen wir hier, wenn auch nicht die Principien, auf die sie sich stützt, doch wenigstens die Aufeinanderfolge von Operationen, die sie erfordert, erwähnen.

In dem Laden eines dunkeln Zimmers befestigt man eine Linse von kurzer Brennweite, auf welche ein außerhalb befindlicher Spiegel, z. B. der Spiegel eines Heliostats, die Sonnenstrahlen in horizontaler Richtung wirft. Nachdem man auf diese Weise einen leuchtenden Punkt gebildet hat, läßt man das von ihm ausgehende Licht auf zwei sehr feine, in einem Metallblättchen angebrachte Spalten fallen. Jede Spalte zerstreut das Licht, welches durch sie hindurchgeht. Die beiden verbreiterten Bündel kreuzen sich dann hinter dem Schirme und erzeugen durch ihre Interferenz ein System abwechselnd heller und dunkler Streifen. Der mittlere Streifen ist stets hell; er entsteht aus der Vereinigung zweier Strahlen, die von dem Brennpunkte der Linse aus gerechnet genau gleiche Wege zurückgelegt haben.

Stellt man nun, ohne an den vorhergehenden Anordnungen etwas zu ändern, in die von den Strahlen verfolgte Bahn vor oder hinter jede der Spalten durchsichtige Blättchen von gleicher Dicke und gleichem Brechungsvermögen, so behalten die Streifen unverrückt ihren Ort; dagegen verschieben sie sich sogleich, wenn die beiden eingeschalteten Medien zwar noch gleiche Dicke, aber nicht mehr gleiche brechende Kräfte besitzen. Die mit dem Mikrometer gemessene Größe dieser Verschiebung führt mittelst einer sehr einfachen Rechnung zur Bestimmung des Verhältnisses der Sinus in den beiden eingeschalteten Blättchen. Das Verfahren ist mit gleicher Leichtigkeit sowohl auf die gewöhnlichen als auch auf die ungewöhnlichen Strahlen anwendbar. Es ist vielleicht eine der Erwähnung nicht unwerthe Eigenthümlichkeit dieser Methode, daß sie die Messung der brechenden Kräfte durch Beobachtung von Strahlen gestattet, die nicht gebrochen werden, und die Körper in grader Linie durchdringen.

Wenden wir jetzt dieses Verfahren auf einen besondern Fall an. Man will z. B. wissen, ob der Topas in zwei gegebenen Richtungen dieselbe Brechung zeigt? Man schneidet ihn zuerst, wie Fresnel gethan hat, nach diesen zwei Richtungen in nahe parallele Blättchen, denen man durch gleichzeitiges Schleifen dieselbe Dicke gibt. Es ist

dann nur noch übrig, dieſe Blättchen an den beiden Spalten des Schirmes anzubringen, jedoch dergeſtalt, daß jedes Blättchen nur eine Spalte bedeckt. In dieſem Falle werden nun die Streifen, welches auch die Richtungen der Schnitte ſein mögen, vor und nach der Einſchaltung der Blättchen faſt niemals denſelben Ort einnehmen. Als Fresnel zwei eigenthümliche Schnitte, die er anführt, und die ihm im Voraus ſeine Theorie angegeben hatte, verglich, ſo ſtieg bei den Verſuchen die Verſchiebung bis zu 20 Streifen. Die Unſicherheit der Beobachtungen betrug nur einen halben Streifen. Es iſt alſo, ſo ſonderbar das Reſultat auch erſcheinen mag, bewieſen, daß in dem Topas in Bezug auf jene Strahlen, welche man bisher regelmäßige oder gewöhnliche genannt hat, das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels nicht conſtant iſt.

Obgleich die Principien, auf welche Fresnel bei ſeinen Unterſuchungen ſich ſtützt, jetzt zu den unbeſtreitbarſten Wahrheiten in der Optik gehören, ſo hat man doch geglaubt, daß es nicht überflüſſig ſein dürfte, ſich von den zuvor erwähnten Aenderungen in der Brechung durch eine directere Methode, nämlich durch die unmittelbare Beobachtung der Ablenkung der Bilder zu überzeugen. Der Verfaſſer hat bereitwilligſt dieſes zur Beſtätigung dienende Verfahren aufgenommen, und uns Prismen von demſelben Winkel gezeigt, die, weil ſie nach verſchiedenen Richtungen aus einem Topaſe geſchnitten waren, die gewöhnlichen Strahlen nicht in gleicher Weiſe brachen. Indem Fresnel die beſondern Schnitte auswählte, welche bei den Beugungsverſuchen die größte Verſchiebung der Streifen gegeben hatten, und gleichzeitig zwei Prismen mit einem gemeinſchaftlichen Winkel von $92^1/_2{}^0$ ſchliff, hat er einen kleinen Apparat ausgeführt, wo der Unterſchied in den Ablenkungen der gewöhnlichen Strahlen dergeſtalt deutlich hervortritt, daß er auch dem ungeübteſten Auge nicht entgehen kann.

Man verdankt Brewſter und Biot eine große Anzahl ſehr genauer Verſuche über die zweiarigen Kryſtalle; aber dieſe geſchickten Phyſiker haben das wahre Geſetz der abſoluten Ablenkungen der Strahlen nicht entdeckt, weil ſie beide beſtändig annehmen, daß unter gleichen Neigungen die Brechung des gewöhnlichen Bündels dieſelbe ſei, welches auch die Richtung der Schnitte ſein möge. Nach Fresnel können

alle Erscheinungen der Doppelbrechung in den zweiarigen Krystallen vorhergesehen und mittelst eines dreiarigen Ellipsoids nach der folgenden Construction berechnet werden.

Zwei Strahlen, ein gewöhnlicher und ein ungewöhnlicher, bewegen sich in einem Krystalle nach einer einzigen Richtung, und man will ihre Geschwindigkeiten kennen lernen. Zu diesem Ende betrachtet man irgend einen Punkt dieser Richtung als den Mittelpunkt eines Ellipsoids mit drei ungleichen Aren. Darauf führt man durch diesen Mittelpunkt eine auf die gemeinschaftliche Richtung der beiden Strahlen senkrechte Ebene. Die Hälften der größten und der kleinsten Are des durch diese Ebene in der Oberfläche gemachten Schnittes stellen die beiden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten dar, wenn man die Undulationstheorie annimmt, während sie in dem Emissionssysteme die Einheit dividirt durch eben diese Geschwindigkeiten bedeuten. Was die Polarisationsebenen der beiden Bündel betrifft, so sind sie respective auf den Halbaren der Ellipse, welche ihre Geschwindigkeiten darstellen, senkrecht.

Dies ist das von Fresnel gegebene Gesetz. Prüfen wir zunächst in einigen besondern Fällen, ob die daraus hergeleiteten Folgerungen mit den Thatsachen übereinstimmen.

Ein Ellipsoid mit drei ungleichen Aren kann durch zwei seiner Diametralebenen in einem Kreise geschnitten werden. Im Allgemeinen muß es also in den Krystallen zwei auf diesen Ebenen senkrechte Richtungen geben, in welchen der gewöhnliche und der ungewöhnliche Strahl respective dieselben Geschwindigkeiten haben und ohne getrennt zu werden, sich fortpflanzen. In der That sind dies die Eigenschaften der beiden Aren des Topases und aller ähnlichen Krystalle.

Wenn das Ellipsoid ein Umdrehungsellipsoid ist, so fallen die beiden so eben erwähnten Kreisschnitte mit der Aequatorebene zusammen, und die beiden Richtungen ohne Doppelbrechung reduciren sich auf eine einzige Richtung, die in allen Punkten der Umdrehungsaxe parallel ist. Die große oder die kleine Are eines jeden durch irgend eine Diametralebene gemachten elliptischen Schnittes ist constant und liegt in der Ebene des Aequators. Eins der beiden gebrochenen Bündel wird also in allen Richtungen und unter allen Neigungen

dieſelbe Geſchwindigkeit behalten, während die des andern ſich ändert: wir ſind durch unſere Annahme in der That auf den von Huygens behandelten Fall der einaxigen Kryſtalle gekommen.

Endlich ſieht man, daß wenn die drei Axen des Ellipſoids unter ſich gleich würden, in keiner Richtung weder Ungleichheit in der Geſchwindigkeit, noch ein Doppelbild, noch Polariſation eintreten könnte; und in der That beobachtet man dies in den meiſten durchſichtigen Körpern.

Gehen wir jetzt zu ſeinern Prüfungen über. Wenn das von Fresnel gegebene Geſetz richtig iſt, ſo wird man, wenn die beiden Axen eines Kryſtalles ebenſo wie die Stärke ſeiner Doppelbrechung bekannt ſind, die beſondern Richtungen, in denen die gewöhnlichen Strahlen die am meiſten ungleichen Geſchwindigkeiten haben, beſtimmen und den Betrag ihres Unterſchiedes angeben können; außerdem hat die Ebene, welche dieſe beiden Strahlen enthält, die Eigenthümlichkeit, daß die ungewöhnlichen Strahlen ſich in ihr gleich ſchnell bewegen. In dieſen drei Punkten hat ſich die Theorie mit der Erfahrung völlig übereinſtimmend erwieſen.

Aus den zahlreichen Verſuchen von Brewſter und Biot geht hervor, daß die Differenz der Quadrate der Geſchwindigkeiten des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahles, die ſich in einem Kryſtalle nach einer und derſelben Richtung bewegen, dem Producte der Sinus der von dieſer Richtung mit den beiden Axen gebildeten Winkel proportional iſt. Die Fresnel'ſche Conſtruction führt zu demſelben Geſetze, und da die Entfernung der beiden Bilder weſentlich nur von der Differenz der Geſchwindigkeiten abhängt, ſo findet ſich dieſe Conſtruction in jener Beziehung durch zahlreiche Meſſungen von Winkelablenkungen geſtützt. Dieſe Meſſungen können allerdings für ſich allein nicht dienen, um die abſoluten Brechungen der Strahlen zu berechnen, weil ſie ſich auf die unrichtige Vorausſetzung gründen, daß der gewöhnliche Strahl ſich ſtets mit derſelben Geſchwindigkeit im Kryſtalle fortpflanze; aber mit den vom Verfaſſer über die Ungleichheiten der Brechungen dieſes Bündels gemachten Beobachtungen combinirt, liefern ſie ſehr ſchätzbare experimentelle Beſtätigungen, denen das von Fresnel gegebene Geſetz ohne Ausnahme Genüge leiſtet.

Was die relativen Richtungen der einfallenden und gebrochenen Strahlen anlangt, so werden sie streng durch die Bedingung des in kürzester Zeit durchlaufenen Weges, wenn man die Geschwindigkeiten den beiden Halbaren des elliptischen Schnittes proportional setzt, oder durch das Princip der kleinsten Action (Thätigkeit), wenn man für diese Geschwindigkeiten die umgekehrten Verhältnissen annimmt, bestimmt.

Die Abhandlung, über welche wir so eben einen Ueberblick gegeben haben, enthält ein sehr ausgedehntes Kapitel, in welchem Fresnel seine theoretischen Ansichten über die besondere Art von Wellenbewegungen, aus denen ihm zufolge das Licht besteht, auseinandersetzt. Die Zeit hat uns noch nicht gestattet, dasselbe mit der ganzen erforderlichen Aufmerksamkeit zu prüfen; es würde also unmöglich sein, jetzt eine entschiedene Meinung darüber auszusprechen. Die Commission wird bei einer andern Veranlassung darauf zurückkommen können; sie hat aber geglaubt, nicht weiter zögern zu dürfen, eine Arbeit bekannt zu machen, deren Schwierigkeit durch die fruchtlosen Anstrengungen mehrerer geschickter Physiker bezeugt wird, und in welcher die experimentelle Geschicklichkeit, sowie die Erfindungsgabe in gleichem Grade glänzen. Wir denken, daß die Akademie Fresnel ein neues Zeugniß ihrer Zufriedenheit geben und die wichtige Abhandlung, über die wir eben Bericht erstattet haben, sobald als möglich in dem Récueil des Savants étrangers abdrucken lassen muß.

XXIV.

Ueber das Gesetz des Cosinusquadrats in Bezug auf die Intensität des polarisirten Lichtes nach seinem Durchgange durch einen doppeltbrechenden Krystall.

[Wir sahen oben S. 120, daß die von Arago am 5. August 1833 der Akademie der Wissenschaften mitgetheilte Abhandlung über das Gesetz des Cosinusquadrats noch nicht gedruckt worden war. In seiner ersten Abhandlung über Photometrie S. 136 hat sich Arago auf den Auszug berufen, den Babinet von dieser Arbeit in der französischen Uebersetzung von Sir John Herschel's Optik, die von Quetelet

und Werhulſt herrührt und gegen Ende des Jahres 1833 erſchienen iſt, veröffentlicht hat. Da Babinet's Auszug eine Feſtſtellung des Zeitpunkts für Arago's Unterſuchung gewährt, ſo muß er hier aufgenommen werden.

Das von Gambey conſtruirte und in der zweiten Abhandlung über Photometrie S. 160 ff. beſchriebene Photometer Arago's hatte im Jahr 1833 Quetelet geſehen, der es in dem Supplemente zu Herſchel's Optik anführt, und bei dieſer Gelegenheit einen Bericht über die Abhandlung über das Geſetz des Coſinusquadrats, der in der Zeitung le Temps einige Tage nach der Sitzung der Akademie der Wiſſenſchaften erſchienen war, citirt.

S. 369 des zweiten Bandes der franzöſiſchen Ueberſetzung von Herſchel's Optik (Traité de la lumière) ſpricht ſich Quetelet in folgender Weiſe aus:

„Vor Kurzem habe ich zu Paris in Arago's Händen ein von Gambey conſtruirtes Inſtrument geſehen, das zur Meſſung des Lichtes der Sterne beſtimmt iſt. Ich bedauere, die Einrichtung deſſelben nicht angeben zu können; ich muß mich hier auf die Anführung deſſen beſchränken, was dieſer gelehrte Phyſiker darüber in der Sitzung der Akademie der Wiſſenſchaften vom 5. Aug. 1833 ſelbſt mitgetheilt hat:

„Arago bemerkt im Eingange ſeiner Abhandlung, daß inmitten der glänzenden und unerwarteten Fortſchritte, welche die Optik ſeit einem drittel Jahrhundert gemacht hat, ein einziger Zweig dieſer Wiſſenſchaft, derjenige nämlich, welcher die Meſſung der Intenſitäten behandelt und mit dem Namen Photometrie bezeichnet wird, faſt ſtationär geblieben ſei. Seiner Anſicht nach ermangeln die Verfahren, von denen Bouguer, Lambert und Rumford Gebrauch machten, völlig der Genauigkeit. Arago arbeitet ſeit einigen Jahren, um dieſe Lücke in der Optik auszufüllen, wäre es auch nur wegen der vielfachen Anwendungen, deren die photometriſchen Methoden fähig ſcheinen.

„Den Hauptgegenſtand ſeiner Abhandlung bildete heute „das Geſetz, nach welchem ein polariſirtes Lichtbündel ſich zwiſchen dem regelmäßigen und dem unregelmäßigen Strahle theilt, wenn dies Bündel einen doppeltbrechenden Kryſtall durchläuft.“ Die Kenntniß dieſes Geſetzes würde, auch abgeſehen von ſeiner Wichtigkeit in theo-

retischer Beziehung, sehr einfach zur Lösung einer Menge sehr interessanter astronomischer Fragen führen. Arago nennt unter Andern die Vergleichungen der Lichtintensität des Theiles vom Monde, den die Sonnenstrahlen direct beleuchten, mit der Lichtintensität desjenigen Theiles eben dieses Gestirns, welcher blos von der Erde reflectirte Strahlen empfängt. Nach den in dieser Beziehung bereits angestellten Versuchen glaubt er, daß man im Stande sein wird, mit den vervollkommneten Instrumenten, von denen er bald Gebrauch zu machen hofft, in dem aschfarbenen Lichte die Unterschiede des mehr oder weniger wolkigen Zustandes der Erdatmosphäre wahrzunehmen. Es ist also trotz alles Erstaunens, das ein solches Resultat auf den ersten Blick hervorrufen muß, nicht unmöglich, daß einst die Meteorologen sich anschicken, aus dem Aussehen des Mondes werthvolle Angaben über die mittlere Durchsichtigkeit der Erdatmosphäre in denjenigen Halbkugeln, welche successive zur Erzeugung des aschfarbenen Lichtes beitragen, zu entnehmen.

„Nachdem Arago ferner den großen Vortheil bezeichnet hat, den man aus dem gesuchten Polarisationsgesetze zur Vervollkommnung der so wichtigen Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitersmonde ziehen kann, ist er zu der detaillirten Erläuterung der Methoden übergegangen, deren Benutzung er vorschlägt, um in allen Fällen auf experimentellem Wege zur Kenntniß der relativen Intensitäten des regelmäßigen und des unregelmäßigen Strahles zu gelangen. Diese Methoden sind ganz und gar neu; ohne Hülfe von Figuren und einigen analytischen Rechnungen würde es indeß nicht möglich sein, eine genügende Vorstellung davon zu geben. Wir werden uns daher begnügen anzuführen, daß die von Arago ausgedachten Methoden außer der Genauigkeit, die ihnen eigen ist, durch den wahrhaft paradoxen Umstand bemerkenswerth sind, daß die Vergleichung der beiden Bilder erfolgt, ohne daß man je nöthig hat, diese beiden Bilder zu trennen.

„Zum Schlusse seines Vortrags machte Arago die Mittel namhaft, deren er sich bedient hat, um die relativen Lichtmengen zu bestimmen, welche in den unter allen möglichen Winkeln reflectirten Strahlen enthalten sind, von welcher Beschaffenheit auch die geprüfte Substanz sein möge; er hat z. B. gezeigt, wie man den Polarisationswinkel auf den Metallen finden kann.

„Arago hatte bereits mehrere dieſer letztern Reſultate in dem Artikel Polariſation der Encyclopaedia britannica *) veröffentlicht, jedoch ohne damals die Methoden mitzutheilen, welche zum Nachweiſe der Richtigkeit derſelben dienen können.“ (Auszug aus der Zeitung le Temps.)

Es folgt nun der von Babinet redigirte Auszug aus Arago's Abhandlung, wie er S. 590 des 2. Bandes der franzöſiſchen Ueberſetzung von Herſchel's Optik abgedruckt iſt:

„Der vollſtändige Ausdruck des Geſetzes, deſſen Beſtätigung durch den Verſuch Arago ſich vorgeſetzt hat, lautet ſo: „„Wenn man einen polariſirten Lichtſtrahl ſenkrecht durch eine kryſtalliſirte Platte gehen läßt, deren Hauptſchnitt mit der Polariſationsebene des einfallenden Strahles einen beliebigen Winkel bildet, ſo iſt die Menge dieſes Lichtes, welche in den regelmäßigen Strahl übergeht, proportional dem Quadrate des Coſinus des Winkels, den der Hauptſchnitt des Kryſtalles mit der Polariſationsebene des einfallenden Strahles macht; der Reſt bildet den unregelmäßigen Strahl.““

„Ehe indeß Arago auf die Erläuterung des Verfahrens, welches ihm geſtattet, dieſes optiſche Theorem als ein phyſikaliſches Geſetz nachzuweiſen, eingeht, erinnert er an die hauptſächlichſten Eigenſchaften des polariſirten Lichtes und erläutert ſie experimentell.

„1) Das durch Doppelbrechung, durch Reflexion, durch mehrfache Brechungen, durch Abſorption in gewiſſen Kryſtallen erhaltene polariſirte Licht beſitzt die Eigenſchaft, beim ſenkrechten Durchgange durch ein Kalkſpathrhomboeder, deſſen Hauptſchnitt mit der Polariſationsebene dieſes Lichtes zuſammenfällt, nur einen Strahl (den regelmäßigen) zu geben; während unter denſelben Umſtänden das natürliche Licht, z. B. das Licht der Sonne, der Sterne, einer Kerze, ſtets zwei getrennte Bündel von gleicher Intenſität liefert, von denen das eine die regelmäßige, und das andere die unregelmäßige Brechung erleidet. Bekanntlich verſteht man unter Hauptſchnitt die Ebene, welche ſenkrecht auf der Eintrittsfläche in den Kryſtall ſteht und durch die Axe

*) Vergl. den Aufſatz im 7. Bande über die Polariſation.

des Rhomboeders, welches die kryſtallographiſche Form des Kalkſpaths darſtellt, geht.

„Umgekehrt erkennt man, daß ein Strahl polariſirt iſt, wenn dieſer Strahl ſich in gewiſſen Lagen des Kalkſpaths nicht in zwei trennen läßt; und daß ferner, wenn er ganz und gar die regelmäßige Brechung erleidet, die dann vorhandene Lage des Hauptſchnittes des Kryſtalles die Polariſationsebene des Strahles angibt.

„2) Wenn das polariſirte Licht durch eine Kalkſpathplatte geht, deren Hauptſchnitt auf ſeiner Polariſationsebene ſenkrecht ſteht, ſo iſt der regelmäßige Strahl Null, und das geſammte Licht geht in den unregelmäßigen Strahl über.

„3) Wenn der Hauptſchnitt des Kryſtalles einen Winkel von 45° (der Hälfte eines Rechten) mit der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes macht, ſo liefert daſſelbe zwei Strahlen von gleicher Intenſität, von denen jeder die Hälfte des einfallenden Lichtes enthält.

„4) Das Licht kann partiell polariſirt ſein, und dann läßt es ſich betrachten als ein Gemenge aus natürlichem (neutralem) und aus polariſirtem Lichte. Der nicht polariſirte Theil liefert für jede der beiden Brechungen, für die regelmäßige und für die unregelmäßige, gleiche Mengen; dagegen fügt ſich der polariſirte Theil, je nachdem der Winkel des Hauptſchnittes des Kryſtalles mit ſeiner Polariſationsebene 0°, 90° oder 45° beträgt, in dem erſten Falle ganz zu dem regelmäßigen, in dem zweiten ganz zu dem unregelmäßigen Strahle hinzu, und theilt ſich endlich im dritten Falle zu gleichen Theilen unter die beiden Brechungen.

„5) Eine andere nicht weniger wichtige Eigenthümlichkeit des polariſirten Lichtes, welche Arago entdeckt und für eine große Zahl von Unterſuchungen mit Vortheil zu benutzen gewußt hat, iſt die ſogenannte farbige oder chromatiſche Polariſation: ſie beſteht darin, daß wenn man einen polariſirten Strahl durch ein doppeltbrechendes Blättchen von paſſender Dicke und Lage gehen läßt, die beiden Strahlen (der regelmäßige und der unregelmäßige), welche dann dieſer Strahl liefert, ſobald ſie wie vorhin durch den Kalkſpath gehen, die lebhafteſten Farben zeigen, welche noch die wichtige Eigenſchaft beſitzen, zu einander complementär zu ſein, d. h. daß die Vereinigung

dieſer beiden gefärbten Bündel ein vollſtändig farbloſes Licht gibt; man drückt dieſe Eigenſchaft auch aus, indem man ſagt, daß dieſe beiden complementären Farben ſich gegenſeitig neutraliſiren; ſo erhält man z. B. durch die complementären Farben Roth und Grün weißes oder farbloſes Licht.

„Ich füge hinzu, daß wenn der Kryſtall, durch welchen der Strahl vor ſeinem Eintritte in das Rhomboeder hindurchgeht, eine ſenkrecht auf die Are des ſechsſeitigen Prismas (der gewöhnlichen Geſtalt des betreffenden Minerals) geſchnittene Platte von Quarz oder Bergkryſtall von ungefähr 5 Millimeter Dicke iſt, das polariſirte Licht, welches in der Richtung der Are dieſes Kryſtalles durch dieſelbe hindurchgegangen iſt und darauf das Kalkſpathrhomboeder durchdrungen hat, ſehr intenſive complementäre Farben zeigt, in dem einen Strahle z. B. ein lebhaftes Roth, in dem andern ein ſehr ſchönes Grün.

„6) Wenn in den beiden Fällen der vorhergehenden Nummer das Licht anſtatt vollſtändig, nur partiell polariſirt iſt, ſo beobachtet man zwar noch complementär gefärbte Bilder; dieſelben ſind aber um ſo weniger lebhaft, je geringer das Verhältniß an polariſirtem Lichte in dem der Prüfung unterworfenen Strahle iſt; ſo daß dieſe Eigenſchaft ein Mittel liefert, das durch kein anderes erſetzt werden kann, um ſich zu verſichern, daß ein gegebener Lichtſtrahl vollkommen neutral iſt, d. h. keinen Theil polariſirten Lichtes enthält; denn wenn dem ſo iſt, ſo ertheilt dies Licht, wenn es erſt durch eine Quarzplatte von 5 Millimeter Dicke und dann durch einen Doppelſpath gegangen iſt, den beiden Bündeln, in die es ſich ſpaltet, keine Spur von Färbung.

„7) Der Verſuch beweiſt, daß wenn man zwei Bündel von gleicher Intenſität, die in zwei aufeinander ſenkrechten Ebenen polariſirt ſind, vereinigt, das ſo erhaltene Licht dem neutralen Lichte vollſtändig analog iſt. Dies liefert ein Mittel, um ein vollſtändig oder partiell polariſirtes Lichtbündel zu depolariſiren. Wenn man es nämlich durch einen doppeltbrechenden Kryſtall gehen läßt, deſſen Hauptſchnitt einen Winkel von 45° mit ſeiner Polariſationsebene macht, ſo löſt es ſich in zwei Bündel von gleicher Intenſität auf; und da überdies der Verſuch zeigt, daß die beiden durch die Doppelbrechung ent-

stehenden Bündel vollständig polarisirt sind, und daß ferner ihre Polarisationsebenen aufeinander senkrecht stehen, so folgt daraus, daß das polarisirte Licht, das in zwei gleiche und unter rechten Winkeln (oder wie man sagt in entgegengesetztem Sinne) polarisirte Bündel gespalten worden, dem neutralen Lichte analog, d. h. vollständig depolarisirt ist.

„Es ist leicht zu sehen, daß man für das partiell polarisirte Licht zu demselben Resultate gelangen wird; da nämlich der nicht polarisirte Theil stets zwei gleiche und in entgegengesetztem Sinne polarisirte Bilder liefert, so wird man, wenn der Hauptschnitt des analysirenden Kalkspaths mit der Polarisationsebene einen Winkel von 45° bildet, um auf diese Weise die beiden Theile, in welche sich die polarisirten Strahlen spalten, ebenfalls gleich zu machen, schließlich zwei gleiche und in entgegengesetztem Sinne polarisirte Bündel, d. h. Bündel von depolarisirtem oder neutralem Lichte erhalten.

„Bemerken wir, daß dieser Vorgang äußerst nützlich sein kann, um durch Doppelbrechung gespaltene und infolge dessen polarisirte Strahlen in den Zustand des neutralen Lichtes zurückzuführen, dem die Eigenschaften des Polarisationszustandes, welche später dem Erfolge des Versuches schaden könnten, entzogen sind.

„Da die Lage des Hauptschnittes eines Krystalles, in welcher der regelmäßige und der unregelmäßige Strahl gleiche Intensität besitzen, mit der Polarisationsebene einen Winkel von 45° macht, so erhält man durch die vollständige Depolarisation ein schätzbares Mittel, um die Polarisationsebene des polarisirten Theiles eines Strahls zu finden, der nur partiell polarisirt ist. Es wird genügen, die Lage des Hauptschnittes des Krystalls zu suchen, die ihn vollständig depolarisirt; die gesuchte Polarisationsebene liegt dann 45° von dem Hauptschnitte des Krystalles in seiner gegenwärtigen Lage ab.

„Die Gleichheit der beiden Bündel, wenn der Hauptschnitt des doppeltbrechenden Krystalles einen Winkel von 45° mit der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes macht, bestätigt das Gesetz des Cosinusquadrats für diesen Fall; denn nähme man das einfallende Licht zur Einheit und nach diesem Gesetze den regelmäßigen Strahl gleich dem Quadrat des Cosinus von 45°, (das gleich $^1/_2$ ist), so würde

der Rest des Lichtes oder der unregelmäßige Strahl gleich der Einheit weniger $^1/_2$, also ebenfalls gleich $^1/_2$, d. h. gerade wie der Versuch ergibt, dem regelmäßigen Strahle gleich sein. Als Arago diesen Versuch anstellte, fand er, daß die beiden Strahlen sich vollständig neutralisiren, was ihn auf ihre Gleichheit und folglich auf die Richtigkeit des Gesetzes des Cosinusquadrats in diesem Falle hat schließen lassen.

„Man muß bemerken, daß man bei diesem Prüfungsverfahren sich von der Gleichheit der beiden Lichtbündel überzeugt, ohne daß man sie zu trennen braucht, und daß infolge der Beschaffenheit der Polarisation, die mit zwei zusammenfallenden Bündeln zu operiren gestattet, gleichzeitig jeder aus der ungleichen Empfindlichkeit des Auges in den beiden verschiedenen Theilen der Netzhaut, welche sonst der Wirkung zweier getrennter Bündel ausgesetzt gewesen sein würden, entspringende Fehler beseitigt wird.

„8) Die Induction, welche zu dem von Malus zwar angegebenen, aber nicht bewiesenen Gesetze des Cosinusquadrats geführt hat, ist ziemlich leicht zu begreifen. Ein polarisirter Lichtstrahl gibt beim Durchgange durch ein doppeltbrechendes Blättchen, dessen Hauptschnitt mit der Polarisationsebene Winkel von 0°, 45° und 90° bildet, die Intensitäten 1, $^1/_2$, 0; während die Intensitäten des unregelmäßigen Strahles durch die complementären Werthe 0, $^1/_2$, 1 ausgedrückt werden. Jene drei Werthe 1, $^1/_2$, 0 des regelmäßigen Strahles sind genau den Quadraten der Cosinus der Winkel gleich, welche die genannten Ebenen unter sich bilden. Fresnel hat auch dieses Gesetz theoretisch aus seinen Ideen über die Beschaffenheit der Lichtschwingungen, die er senkrecht auf der Richtung des Strahles annimmt, hergeleitet; aber Niemand hat vor Arago versucht, einen experimentellen Beweis für dasselbe zu finden, der von Keinem bestritten werden könnte, selbst nicht von denen, die ein gewisses System oder eine gewisse Theorie, woraus sich dieses physikalische Gesetz herleiten ließe, nicht annehmen würden.

„Arago weist auf die Wichtigkeit solcher physikalischer Beweise hin, die für alle Zeiten Naturgesetze (wie z. B. das Sinusgesetz von Descartes bei der Brechung unkrystallinischer Mittel) feststellen; die den Theorieen zur Stütze dienen, anstatt von ihnen eine stets der Bestätigung bedürfende Gewißheit zu entlehnen, und wirkliche Be-

reicherungen der Wissenschaft sind, weil Nichts ein durch die Thatsachen bestätigtes Gesetz umzustoßen vermag, durch welche Art von Induction oder Theorie man übrigens auch dahin gelangt sein möge, dieses Gesetz zu erkennen oder auch nur zu vermuthen.

„Arago hebt ferner die praktische Wichtigkeit des Gesetzes des Cosinusquadrats in der Photometrie hervor, welcher Zweig der Physik den Arbeiten Arago's so viel, (ja man kann sogar sagen Alles) verdankt. Denn die Schwierigkeit der photometrischen Aufgaben besteht fast stets in jenen zwei Operationen, welche die Vergleichung zweier gegebener Lichtquellen ermöglichen: 1) das intensivere Licht um eine genau bekannte Größe zu schwächen, um es dem schwächern gleich zu machen; und 2) sich durch ein vor Irrthümern geschütztes und hinreichend empfindliches Verfahren der hergestellten Gleichheit zu versichern. Wer sieht nun nicht, daß man sich einerseits durch das Fehlen der Farben in der Quarzplatte von der Gleichheit der beiden zusammenfallenden, unter rechten Winkeln polarisirten Lichtbündel überzeugen, sowie andererseits nach dem Gesetze des Cosinusquadrats der Winkel, welche die bereits mehrfach genannten Ebenen untereinander bilden, den Bruchtheil des einen der beiden Bündel, der zur Neutralisation des zweiten verwandt worden ist, berechnen kann? Beachten wir noch, daß diese Theilung des Lichtes sogar in dem Falle vortheilhaft benutzt werden kann, wo die chromatische Polarisation nicht geeignet wäre, über die Gleichheit zweier zu vergleichender Lichter zu entscheiden; denn man kann stets den durch Doppelbrechung getheilten Strahl, indem man ihn durch ein so dünnes doppeltbrechendes Blättchen gehen läßt, daß die entstehenden beiden Strahlen nicht von einander getrennt werden, depolarisiren und ihm alle Eigenschaften des directen oder natürlichen Lichtes ertheilen.

„Wählte man z. B. zur Vergleichung das successive, um bekannte Größen geschwächte Licht eines Objectes am Himmel, so würde man durch Beobachtung gleicher Helligkeiten den zunehmenden Eingriff des Schattens des Jupiter in die Scheibe eines seiner Monde im Augenblicke der Verfinsterung desselben verfolgen können; ein bequemes und einwurfsfreies Verfahren der Schwächung dürfte auf andere Weise nicht zu erhalten sein.

„Arago bezeichnet ferner die Bestimmung der relativen Intensität des Lichtes der Sterne als leicht durch dieses Verfahren zu erhalten. Denn nachdem man die beiden Gestirne in zwei benachbarte Theile des Gesichtsfeldes eines Fernrohres gebracht hat, schwächt man das (zuvor polarisirte) Licht des stärkeren um eine bekannte Größe bis es dem schwächeren Sterne gleich ist.

„Arago weist dann auf die Wichtigkeit des obigen Gesetzes bei zahlreichen Untersuchungen hin, die nur unternommen werden können, indem man sich auf die von diesem Gesetze der Praxis gelieferten Data stützt, und geht darauf zur Erläuterung des Verfahrens über, das er ausgedacht hat, um jenes Gesetz für verschiedene Winkel zu verificiren, die nach dem Belieben des Experimentators hergestellt werden, von dem Zusammenfallen der Polarisationsebene mit der Ebene des Hauptschnittes an bis zur größten Abweichung dieser Ebenen, wobei die eine auf der andern senkrecht steht.

„Um den Gang seines Verfahrens zu verstehen, muß man wissen, daß Arago bewiesen hat, daß, wenn man das Licht z. B. von einer Glasplatte reflectiren läßt, die absolute Menge polarisirten Lichtes, die sich in dem reflectirten Strahle findet, genau derjenigen gleich ist, welche der durchgelassene Strahl enthält; nur ist diese letztere Menge im entgegengesetzten Sinne polarisirt. Es genügt übrigens, um sich von der Richtigkeit dieses Gesetzes zu überzeugen, den reflectirten und den durchgelassenen Strahl gleichzeitig aufzufangen und zu sehen, ob ihre Vereinigung neutrales Licht bildet. Dies ist nun aber die von Arago beobachtete Thatsache; die in dem reflectirten Strahle enthaltene und in der Reflexionsebene polarisirte Lichtmenge ist also der im entgegengesetzten Sinne polarisirten Lichtmenge gleich, die in dem durchgelassenen Lichte existirt, weil diese beiden Lichtmengen sich gegenseitig neutralisiren.

„Arago leitet daraus ein Mittel her, um wenn nicht dem absoluten Werthe nach, so doch wenigstens relativ die proportionale Menge an polarisirtem Lichte, welche zwei partiell polarisirte Strahlen enthalten, zu erkennen.

„Wir wollen dies durch ein Beispiel klarer machen. Gesetzt wir haben einen Strahl natürlichen Lichtes, der unter einem gegebenen

Einfallswinkel durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen geht, und auf dieſe Weiſe ein durchgelaſſenes und ein reflectirtes Lichtbündel liefert, von denen man je nach dem Einfallswinkel das eine in bekannten Verhältniſſen ſtärker als das andere, oder auch ihm gleich machen kann. Arago's photometriſche Verfahren geſtatten den reflectirten Strahl einem Viertel, einem Drittel, der Hälfte, zwei Drittel oder irgend einem andern Bruchtheile des einfallenden Strahles gleich zu machen. Wir wollen bei dem Falle ſtehen bleiben, wo der durchgelaſſene Strahl das Doppelte des reflectirten beträgt, wo letzterer alſo einem Drittel des geſammten einfallenden Lichtes gleich iſt. Da nun die abſolute Menge polariſirten Lichtes in beiden Strahlen dieſelbe iſt, ſo leuchtet ein, daß die relative Menge polariſirten Lichtes im durchgelaſſenen Lichte halb ſo groß ſein wird, als die im reflectirten Strahle enthaltene. Mit anderen Worten, in dem reflectirten Strahle iſt das Verhältniß des polariſirten Theiles zum geſammten Lichte doppelt ſo groß, als das Verhältniß des polariſirten Theiles zum geſammten Lichte in dem durchgelaſſenen Strahle, welches auch übrigens der abſolute Werth der polariſirten Lichtmenge in dem einen und dem andern Strahle ſein möge.

„Man weiß nun aus Erfahrung, daß, wenn man in die Bahn eines partiell polariſirten Lichtſtrahles eine oder mehrere paſſend geneigte Glasplatten ſtellt, dieſer Strahl in den neutralen Zuſtand zurückgeführt wird, und daß dieſe Wirkung eintritt, welches auch die Intenſität des partiell polariſirten Strahles ſein möge. Dieſelbe Säule von Glasplatten neutraliſirt unter vortheilhafteren Neigungen beträchtlichere Antheile polariſirten Lichtes in dem partiell polariſirten Bündel. Demnach iſt in dem oben erwähnten Beiſpiele eines reflectirten Strahles, welcher im Vergleich zum durchgelaſſenen Strahle eine doppelt ſo große relative Menge polariſirten Lichtes enthält, klar, daß man zur Depolariſation des reflectirten Strahles entweder eine Säule aus einer größeren Anzahl Platten, oder dieſelbe Säule unter einem günſtigeren Einfallswinkel anwenden müßte. Dieſe Neutraliſation durch eine gegebene Säule unter einem gegebenen Einfallswinkel hängt dergeſtalt mit der relativen Menge des polariſirten Lichtes in dem partiell polariſirten Strahle zuſammen, daß die Neutraliſation ſogleich aufhört,

obald man die Neigung der Säule aus Glasplatten vergrößert oder verkleinert.

„Wenn man umgekehrt eine Reihe von Neigungen derselben Säule hat, welche in dem einfallenden Strahle enthaltene bekannte relative Mengen polarisirten Lichtes neutralisiren, so wird man diese Säule unter jenen Neigungen mit Nutzen anwenden können, um durch eine erste Neigung, wo sie einen ersten partiell polarisirten Strahl neutralisirt, und durch eine zweite Neigung, wo sie einen zweiten ebenfalls partiell polarisirten Strahl neutralisirt, das Verhältniß der relativen Mengen des polarisirten Lichtes, das beide Strahlen respective enthalten, zu finden. Wenn man z. B. in dem Falle einer Glasplatte, die einen halb so starken Strahl reflectirt, als sie durchläßt, und wo folglich der reflectirte Strahl eine doppelt so große relative Menge polarisirten Lichtes enthält, die beiden Neigungen der Säule notirt, welche successive diese beiden Strahlen neutralisiren, so wird man sicher sein, daß für irgend zwei andere durch ein ganz davon verschiedenes Verfahren erhaltene Strahlen das Verhältniß der relativen Mengen polarisirten Lichtes dasselbe ist, als in dem eben erwähnten Falle, wenn die Neigungen der neutralisirenden Säule ebenfalls dieselben sind.

„Nach Vorausschickung des Vorhergehenden möge jetzt das Wesentliche der von Arago zur Bestätigung des Gesetzes des Cosinusquadrats ausgedachte Methode hier folgen.

„Wir lassen unter senkrechter Incidenz einen vollständig polarisirten Strahl durch eine doppeltbrechende Platte hindurchgehen, deren Hauptschnitt mit der Polarisationsebene des Strahles einen bekannten Winkel macht, und die, entweder weil sie zu dünn ist, oder weil ihre Flächen der Axe parallel geschnitten sind, die beiden Strahlen nicht in zwei getrennte Bündel sondert. Wenn bei der Doppelbrechung der polarisirte Strahl sich nach dem angenommenen Gesetze theilt, so wird das Cosinusquadrat des gegebenen Winkels eine erste Zahl liefern, welche für das regelmäßig gebrochene und im Hauptschnitte polarisirte Licht als Maaß dient, während die Einheit weniger demselben Cosinusquadrat eine andere Zahl als Maaß für das unregelmäßig gebrochene Licht gibt. Das Verhältniß des in diesem Falle vorhandenen polarisirten Lichtes zu dem gesammten als Einheit genommenen Lichte wird

also durch die Differenz dieser beiden Zahlen dargestellt, weil alles Uebrige sich wechselsweise neutralisirt.

„Ohne etwas an dieser Anordnung, welche, wie man sieht, ein partiell polarisirtes Lichtbündel gibt, dessen relative polarisirte Lichtmenge nach dem Gesetze des Cosinusquadrats berechnet werden kann, zu ändern, stellen wir eine Säule von Glasplatten in die Bahn des Strahles und notiren die Neigung der Säule, bei welcher sie diesen Strahl neutralisirt.

„Darauf nehmen wir den ersten Theil des Versuches wieder vor, und erhalten, indem wir den Winkel der Polarisationsebene des einfallenden Strahles mit dem Hauptschnitte des Krystalles ändern, einen neuen partiell polarisirten Strahl, der aber eine andere relative Menge polarisirten Lichtes enthält, und berechnen dann von Neuem diese relative Menge polarisirten Lichtes nach dem Gesetze des Cosinusquadrats.

„Endlich neutralisiren wir dieses zweite partiell polarisirte Bündel gleichfalls durch dieselbe Säule, deren Neigung wir in dem Augenblicke, wo sie das neue durchgelassene Bündel neutralisirt, notiren.

„Diese beiden Neigungen der Säule entsprechen verschiedenen relativen Mengen polarisirten Lichtes in den beiden Fällen, deren Verhältniß wir nach dem, was vorhin gesagt worden, finden können; dies Verhältniß wird dasselbe sein müssen, als das der beiden durch das Gesetz des Cosinusquadrats erhaltenen Zahlen.

„Um von einem bestimmten Falle auszugehen, seien, wie weiter oben, die beiden Neigungen einer und derselben Säule aus Glasplatten bekannt, welche in einem partiell polarisirten Strahle die relativen polarisirten Lichtmengen 1 und 2 neutralisiren. Wir nehmen ferner an, es habe unter diesen beiden Neigungen die in angemessener Weise gedrehte Säule die Neutralisation hervorgebracht, als die Winkel des Hauptschnittes des in die Bahn des ursprünglich polarisirten Lichtstrahles gestellten Krystalls mit der Polarisationsebene dieses Strahles a und b waren. Daraus schließt man, daß in diesen beiden Fällen die in dem durchgelassenen Lichtbündel enthaltenen relativen Mengen polarisirten Lichtes sich verhalten, wie die Zahlen 1 und 2.

Andererſeits wird aber in dem erſten Falle das regelmäßige Licht durch die Zahl gemeſſen, welche das Quadrat des Coſinus von a gibt, und das unregelmäßige gebrochene Licht durch die Einheit weniger dieſer Zahl. Durch Abziehen dieſer letztern Größe von dem Quadrat des Coſinus erhält man die Zahl, welche die relative Menge des polariſirten Lichtes ſelbſt angibt, weil das geſammte Licht der Einheit gleich iſt. Dieſelbe Rechnung für den Winkel b ausgeführt, wird eine ähnliche Zahl liefern; und wenn das Geſetz des Coſinusquadrats richtig iſt, muß die erſte dieſer Zahlen die Hälfte der zweiten ſein."]

XXV.

Ueber das Verhältniß zwiſchen dem Lichte, welches durch Reflexion polariſirt wird, und demjenigen, welches in demſelben Augenblicke die entgegengeſetzte Polariſation annimmt.*)

Wenn man mittelſt eines paſſend geſtellten Kalkſpathrhomboeders das durch eine Glasplatte unter 35° Neigung hindurchgegangene Licht zerlegt, ſo ſieht man zwei Bilder, deren Intenſitäten ſehr wenig verſchieden erſcheinen; während beim Zerlegen des reflectirten Lichtes durch daſſelbe Verfahren das eine der beiden Bündel gänzlich verſchwindet. In dieſem letzten Falle erhalten die Strahlen eine vollſtändige Polariſation; in dem erſten werden ſie nur zum Theil polariſirt. Es iſt wichtig zu unterſuchen, welches Verhältniß zwiſchen der Lichtmenge, die durch Reflexion polariſirt wird, und zwiſchen derjenigen, welche in demſelben Augenblicke durch Brechung die entgegengeſetzte Polariſation annimmt, exiſtirt. Beim erſten Blicke möchte man

*) Nicht veröffentlichte Notiz, welcher die numeriſchen Beſtimmungen beigefügt ſind, die Arago an ihrem Datum in demſelben Tagebuche, wo jene Notiz ſich findet, aufgezeichnet hat. Dieſe Beobachtungen beziehen ſich auf die Entdeckung der Thatſache, daß die Menge des durch Reflexion polariſirten Lichtes gleich der Menge des durch Brechung in einer darauf ſenkrechten Ebene polariſirten Lichtes iſt. (Siehe oben S. 131 u. 140 und den 7. Band der ſämmtlichen Werke.) Der in dieſer Notiz angegebene Apparat kann als der erſte Entwurf des in der zweiten Abhandlung über Photometrie S. 160 ff. beſchriebenen Photometers betrachtet werden.

glauben, daß dieſe letztere Menge ſehr gering ſei, weil ſie mit einer beträchtlichen Zahl nicht polariſirter Strahlen gemengt iſt; aber grade dadurch ſcheint die Unterſuchung, um die es ſich handelt, große Schwierigkeiten darzubieten. Die Phyſiker wiſſen in der That, daß die bis jetzt zur Meſſung der Intenſität des Lichtes im Allgemeinen angewandten Methoden äußerſt mangelhaft ſind. Ihre Unvollkommenheit macht ſich nun beſonders hier fühlbar, wo man das Verhältniß eines gegebenen Lichtes zu der Differenz zweier anderer Lichter beſtimmen muß, die man nur mittelſt eines doppeltbrechenden Prismas zu trennen vermag. Auch iſt es mir nur mittelſt verſchiedener neuer Methoden, die ich wegen ihrer Genauigkeit und der zahlreichen Anwendungen, deren ſie fähig erſcheinen, in einiger Ausführlichkeit erläutern werde, gelungen, dieſe Vergleichung bei allen Neigungen der Strahlen gegen das Glas auszuführen.

Mehrere Verſuche, deren ausführliche Mittheilung hier keinen Zweck haben würde, haben mich ſeit lange glauben laſſen, daß die Lichtmenge, welche durch Brechung polariſirt wird, nahe derjenigen gleich iſt, die unter analogen Umſtänden durch Reflexion polariſirt wird. Nahm man an, daß dieſe Gleichheit für alle Neigungen ſtatt habe, ſo war einleuchtend, daß in allen Fällen, wo das zurückgeworfene Bündel viel ſchwächer war als das durchgelaſſene, letzteres eine beträchtliche Menge nicht polariſirten Lichtes enthalten mußte; und dieſe Miſchung ſchien mir genügend, um zu erklären, warum z. B. unter der Neigung von 35° die beiden Bilder, welche das durchgelaſſene Licht gibt, ſo wenig von einander verſchiedene Intenſitäten zu haben ſcheinen. Es würde aus dieſer Hypotheſe grade ebenſo klar ſich ergeben, daß, wenn das durchgelaſſene und das reflectirte Bündel dieſelbe Intenſität beſäßen, die gleichen Theile polariſirten Lichtes in jedem derſelben mit ebenfalls unter einander gleichen Mengen neutralen Lichtes gemengt ſich finden müßten, und daß folglich, wenn man das Rhomboeder nach einander zur Analyſe der beiden Bilder gebrauchte, das von dem reflectirten Bilde gelieferte regelmäßige Bild z. B. das entſprechende unregelmäßige Bild um eine Größe übertreffen müßte, welche grade umgekehrt den Ueberſchuß des unregelmäßigen Bildes über das regelmäßige meſſen würde, falls man bei derſelben Lage des Rhomboeders

das durchgelaſſene Licht analyſirte. Ich will jetzt angeben, in welcher Weiſe ich mich von der Richtigkeit dieſer Vermuthungen durch ſtrenge Experimente überzeugt habe.

Ich ſuchte zuerſt mit möglichſter Genauigkeit zu beſtimmen, unter welchem Winkel die Glasſorte, welche ich benutzen wollte, die Hälfte des einfallenden Lichtes reflectirt, oder was auf daſſelbe hinauskommt, unter welchem Winkel das durchgelaſſene und das zurückgeworfene Lichtbündel genau dieſelbe Intenſität beſitzen. Zu dieſem Zwecke ſtellte ich in den Mittelpunkt eines in Grade getheilten Kreiſes, und zwar ſenkrecht auf ſeine Ebene eine planparallele Glasplatte. In der Verlängerung des Radius, welcher durch den Anfang der Theilung ging, ſtellte ich in paſſendem Abſtande ein Diopter auf. Die Linie, welche dieſe Oeffnung mit dem Mittelpunkte des Kreiſes verbindet, zeigt in allen Verſuchen die Richtung der Geſichtslinie an. Der Glasſpiegel iſt an einer beweglichen Alhidade des Kreiſes befeſtigt, und kann folglich in Bezug auf die Geſichtslinie alle möglichen Neigungen von 0^0 bis zu 90^0 annehmen. Zur Vervollſtändigung des Apparates endlich befeſtige ich an dem Glasſpiegel, parallel mit dem feſten Kreiſe, nahe in gleicher Höhe über der Ebene deſſelben zwei einander ähnliche ſehr dünne geſchwärzte Stäbchen von Eiſendraht, von denen das eine rechts über den Spiegel hinausgeht, während das andere ganz auf der entgegengeſetzten Seite liegt. Aus dieſer Anordnung folgt offenbar, daß, wenn das erſte Stäbchen durch ſeine Reflexion auf den beiden Flächen des Spiegels geſehen wird, das zweite im durchgelaſſenen Lichte erſcheint und umgekehrt. Die Vergleichung der relativen Intenſitäten der beiden Bilder iſt übrigens um ſo leichter und genauer möglich, als ſie beinahe in Berührung ſind, und gleichzeitig geſehen werden.

Geſetzt, man ſtelle nun dieſen Apparat in geringer Entfernung vor einem gleichförmig beleuchteten Körper, z. B. vor einem Blatte Papier auf, und halte mit einem ſchwarzen Schirme den Lichttheil auf, welcher durch das Glas gegangen ſein würde; das hinter dem Diopter befindliche Auge wird das eine der beiden Stäbchen durch Reflexion ſehen, und dieſes Bild, oder vielmehr dieſer Schatten des Stäbchens

ſchwarz erſcheinen, weil der ihm entſprechende Theil des Spiegels der einzige iſt, welcher keinen Strahl empfängt.

Nehmen wir nun den Schirm hinweg, ſo wird ſich das durchgelaſſene Licht gleichzeitig über den reflectirten Schatten des Stäbchens und über die übrige Oberfläche des Spiegels verbreiten. Dieſer Schatten, der anfangs vollkommen ſchwarz war, wird jetzt durch das geſammte reflectirte Lichtbündel erleuchtet, und erſcheint dadurch um ſo mehr geſchwächt, je mehr das durchgelaſſene Bündel das reflectirte an Intenſität übertrifft. Durch eine ganz ähnliche Schlußfolgerung würde man finden, daß der Schatten des im durchgehenden Lichte geſehenen Stäbchens um ſo weniger durch das denſelben Weg verfolgende reflectirte Licht ausgelöſcht wird, je geringer die Intenſität dieſes letztern Lichtes gegen die Stärke des durch den Spiegel hindurchgegangenen Lichtes iſt. Daraus folgt offenbar, daß die beiden ſo eben erwähnten Schatten nur gleich dunkel erſcheinen können, wenn das durchgegangene und das reflectirte Lichtbündel dieſelbe Intenſität beſitzen. Um die Lage zu finden, in welcher dieſe Bedingung erfüllt iſt, wird es alſo genügen, das Auge vor das Diopter zu ſtellen, und die Alhidade, welche den Spiegel trägt, ſo lange zu drehen, bis die Schatten vollkommen gleich ſind, wobei man jedoch Acht haben muß, den Apparat dergeſtalt einzurichten, daß die beiden einfallenden Bündel dieſelbe Intenſität beſitzen. Die Fehler, welche von einer unvollkommenen Stellung des Spiegels herrühren könnten, wird man verbeſſern, wenn man die Operation nach einander rechts und links vom Nullpunkte ausführt.

Wenn man vor das Diopter des Apparats ein kleines Prisma aus Bergkryſtall, das jeden der Schatten der beiden Stäbe in zwei zerlegt, ſtellt, und ermittelt, unter welchen Winkeln die beiden ſchwachen, oder auch die beiden ſtarken Bilder einander gleich ſind, ſo wird man wieder auf die Winkel kommen müſſen, für welche das durchgelaſſene Bündel dem reflectirten gleich iſt, wenn es nämlich richtig iſt, daß für alle Einfallswinkel die Lichtmenge, welche bei der Brechung polariſirt wird, derjenigen gleich iſt, welche unter denſelben Umſtänden durch Reflexion polariſirt wird.

Es folgen hier die Beobachtungen.

29. April 1815.

Beſtimmung des Winkels, unter welchem eine Glasplatte die Hälfte des einfallenden Lichtes reflectirt.

I. Die beiden Schatten erſcheinen gleich unter dem Winkel von 11,8°, wenn die Alhidade links, und unter dem Winkel von 11,46°, wenn die Alhidade rechts ſteht; das Mittel dieſer beiden Beſtimmungen beträgt 11,27°. Es wurde nach einem in dem nordöſtlichen Fenſter im Thurme der Cabinete aufgeſtellten Blatte Papier viſirt; der Himmel war vollſtändig bedeckt.

II. Die beiden Schatten erſcheinen gleich unter dem Winkel von 11,31°, wenn die Alhidade links, und unter dem Winkel von 11,09°, wenn ſie rechts ſteht; das Mittel der beiden Beſtimmungen iſt 11,20°. Es wurde nach dem ſchon im vorigen Verſuche benutzten Blatte Papier viſirt, das man jetzt in dem Fenſter nach Süden aufgeſtellt hatte; der Himmel war noch vollſtändig bedeckt.

Dieſe Verſuche wurden mit einer von Biot mir geliehenen ebenen Glasplatte angeſtellt.

27. Juli 1815.

I. Beſtimmung des Winkels, unter welchem eine Glasplatte die Hälfte des einfallenden Lichtes reflectirt.

Die beiden Schatten erſcheinen gleich unter dem Winkel von 11,07°, wenn die Alhidade rechts, und unter dem Winkel von 11,4°, wenn dieſelbe links ſteht; das Mittel der beiden Beſtimmungen iſt 11,24°. Es wurde nach einem auf dem Tiſche der Cabinete aufgeſtellten Blatte Papier viſirt, und zwar unter einer hinreichend großen Neigung, um nicht fürchten zu müſſen, daß das Licht eine merkliche Menge polariſirter Strahlen enthielte. In jedem Verſuche war die Glasplatte faſt ſenkrecht auf dem Blatte Papier, welches zum Viſiren oder vielmehr zur Beleuchtung des reflectirenden Spiegels diente.

Mittelſt meines kleinen Fernrohrs (Polariſkops) habe ich dann gefunden, daß das Licht des Papiers ſchwach durch Reflexion polariſirt war.

Zu dieſen Verſuchen diente eine ebene Platte von Richer.

II. Bestimmung des Winkels, unter welchem das durchgelassene und das reflectirte Bündel gleich starke Polarisationen erhalten.

Die beiden schwachen Bilder sind gleich intensiv unter dem Winkel von 11,35°, wenn die Alhidade rechts, und unter dem Winkel von 11,27°, wenn dieselbe links steht; das Mittel der beiden Bestimmungen ist 11,31°. Diese Beobachtungen wurden an demselben Platze mit demselben Papiere und mit derselben Sorgfalt ausgeführt, wie die frühern. Es genügte, vor das Diopter ein kleines Bergkrystallprisma, welches jeden der Schatten in zwei zerlegte, zu stellen.

Nach Beendigung dieser Versuche fand ich mittelst eines kleinen mit einer Bergkrystallplatte versehenen Fernrohrs, daß das Licht des Papiers schwach durch Reflexion polarisirt war.

Bei diesem Versuche diente die ebene Platte von Richer.

III. Neigung, unter welcher das reflectirte und das durchgelassene Bild gleich polarisirt sind.

Die beiden schwachen Bilder sind gleich unter dem Winkel von 11,51°, wenn die Alhidade rechts, und unter dem Winkel von 11,20°, wenn dieselbe links steht; das Mittel dieser beiden Bestimmungen ist 11,35°. Bei diesen Beobachtungen benutzte ich das durch ein Blatt Papier, welches auf der südlichen Fensterscheibe des Thurms der Cabinete angebracht war, hindurchgegangene Licht. Dieses Licht zeigte selbst mit meinem kleinen Prismenfernrohre keine Spur von Polarisation.

IV. Neigung, unter welcher das durchgelassene und das reflectirte Bild gleich stark sind.

Die beiden Bilder erscheinen gleich intensiv unter dem Winkel von 11,50°, wenn die Alhidade rechts, und unter dem Winkel von 11,62°, wenn dieselbe links steht; das Mittel der beiden Bestimmungen ist 11,56°.

Die Umstände bei der Beobachtung sind dieselben, wie in den vorhergehenden Versuchen.

1. August 1815.

Im Mittel einer ziemlich großen Zahl von Beobachtungen finde ich, daß (die Platte rechts stehend) das reflectirte und das durchgelassene Bild gleich stark sind, wenn der Index ungefähr auf 11,2° oder 11,3° steht.

Bei diesen Messungen war der Glasspiegel vertical, und sehr nahe senkrecht auf dem angewandten Papiere.

8. August 1815.

Bestimmung des Winkels, unter welchem die erste Reflexion auf einer Glasplatte mit parallelen Flächen ein Bild von derselben Intensität gibt, wie die zweite Reflexion auf einem dahinter gestellten Platin- oder Stahlspiegel.

Ich stellte zwei ebene und gut polirte Spiegel, den einen von Platin und den andern von Stahl, hinter den ebenen Glasspiegel, der zu den vorhergehenden Versuchen gedient hatte, und suchte dann zu bestimmen, unter welchem Winkel die zweite Reflexion ein ebenso lebhaftes Bild gibt, als die erste Reflexion auf der ersten Fläche der Glasplatte. Bei diesen Versuchen benutzte ich den Schatten eines dünnen geschwärzten Körpers, den ich vor den Spiegel stellte.

Bei Platin sind die beiden Bilder gleich lebhaft unter dem Winkel von 15° 37′, und bei Stahl unter dem Winkel von 15° 38′.*) Die Alhidade stand links.

Bei diesen Versuchen bemerkt man gewöhnlich drei Bilder:

1) das Bild, welches von der ersten Fläche des Glases reflectirt wird;

2) das Bild, welches von der zweiten Fläche und dem mit ihr in Berührung befindlichen Metallspiegel stammt;

*) Die unmittelbare Bestimmung gibt für Platin nur 14° 37′ und für Stahl 14° 38′; man muß aber 1° für die Dicke der Platte hinzufügen, welche die Spiegel trägt; denn es wurde bei diesen Versuchen auf der entgegengesetzten Seite abgelesen.

3) ein Bild, das erst nach drei Reflexionen das Auge erreicht, von denen die erste auf dem Metallspiegel, die zweite an der vordern Fläche des Glasspiegels und die dritte endlich wieder auf dem Metallspiegel erfolgt. Die Bewegung erleichtert die Sichtbarkeit des Bildes. Bei 62° ist dies dritte Bild unsichtbar; bei 42° erscheint es sehr deutlich; bei 40° ist es gut sichtbar; bei 46° noch etwas; bei 56° sehe ich es nicht mehr.

Beim ersten Blicke scheint das von dem Platinspiegel reflectirte Licht merklich schwächer zu sein, als das vom Stahlspiegel reflectirte; ganz sicher ist stets, daß es weniger weiß ist.

Die vorstehenden Versuche zeigen indeß, daß die zweiten Reflexionen, welche auf den beiden Spiegeln stattfinden, unter derselben Incidenz von $15^1/_2{}^0$ Bilder von derselben Intensität liefern.

Unter der Incidenz von 20° haben die beiden Bilder, die in meinem Apparate sich auf dieselbe grade Linie stellen, noch dieselbe Färbung, denselben Ton von Dunkelheit, wenn ich mich so ausdrücken darf. Dagegen findet dies unter einer Neigung von 40° nicht mehr statt; denn dann ist das Bild, welches dem Stahlspiegel entspricht, etwas schwärzer als dasjenige, das sich auf das Platin projicirt. Derselbe Unterschied erhält sich, ohne indeß merklich zuzunehmen, bei Neigungen, die größer als 40° sind.

Die Metallspiegel und der Glasspiegel sind fast unmittelbar in Berührung; auch sieht man unter spitzen Winkeln farbige Streifen, die hauptsächlich roth und grün sind; hat man aber einen gewissen Grenzwerth in der Neigung überschritten, so verschwinden, was merkwürdig ist, diese Streifen gänzlich. So sehe ich bei 25° noch keine Farben; erst bei 18° entstehen sie auf dem Platin; bei 16° auf dem Stahl; bei 14° sind sie auf beiden Metallen sehr auffällig. Uebrigens geben diese Farben, grade wie die gewöhnlichen Ringe, die sich zwischen einem Glasspiegel und einem Metallspiegel bilden, wenn sie bei diesen sehr schiefen Neigungen durch ein Kalkspathprisma zerlegt werden, zwei complementär gefärbte Bilder.

10. August 1815.

Bestimmung des Winkels, unter welchem die erste Reflexion auf einer Glasplatte mit parallelen Flächen ein Bild von derselben Intensität gibt, wie die zweite Reflexion auf einem dahinter gestellten Platin- oder Stahlspiegel.

Der Mittelwerth einer ersten Versuchsreihe gab den Winkel 17° 42′ für das Platin, und 17° 5′ für den Stahl; das Mittel einer zweiten Reihe betrug 18° 14′ für das Platin.

Diese Beobachtungen unterscheiden sich nur dadurch von den am 8. August angestellten, daß ich zwischen den Glasspiegel und die Metallspiegel Alkohol gebracht hatte. In der ersten Reihe benutzte ich den Schatten eines sehr dünnen schwarzen Körpers; in der zweiten ließ ich einen sehr schmalen Lichtstreifen auf die Spiegel, die gegen jedes fremde Licht geschützt waren, fallen. Im ersten Falle zeigte das vom Glase reflectirte Bild eine schwach röthliche Färbung, die der Vergleichung der Bilder schädlich war, während im Verlaufe der zweiten Reihe diese röthliche Färbung auf dem vom Metalle reflectirten Bilde wahrgenommen wurde, woraus hervorgeht, daß diese Farbe dem vom Metalle reflectirten Lichte anhing. Sie war übrigens auf dem Platin viel merklicher als auf dem Stahl.

15. August 1815.

I. Bestimmung des Winkels, unter welchem zwei planparallele Glasspiegel ebensoviel Licht durchlassen, als sie reflectiren.

Als die Alhidade links stand, fand ich für diesen Winkel 17,14°; als sie rechts stand, 15,74°. Das Mittel der beiden Bestimmungen ist 16,44°.

Bei diesem Versuche visirte ich nach einem Papierblatte, das ich dem nordöstlichen Fenster gegenüber auf den Tisch der Cabinete gestellt hatte.

II. Bestimmung des Winkels, unter welchem das von zwei Glasplatten reflectirte und das durchgelassene Bündel gleiche Polarisationen erhalten.

Die beiden schwachen, durch das doppeltbrechende Prisma erzeug-

ten Bilder sind gleich intensiv unter dem Winkel von 17,1°, wenn die Alhidade links, und von 15, 4°, wenn dieselbe rechts steht. Das Mittel der beiden Bestimmungen ist 16, 25°.

11. October 1815.

Bestimmung des Winkels, unter welchem zwei Glasspiegel ebensoviel Licht durchlassen als sie reflectiren.

Die beiden Bilder sind gleich intensiv unter dem Winkel von 17,74°, wenn die Alhidade links, und von 16,32°, wenn dieselbe rechts steht. Das Mittel dieser beiden Bestimmungen ist 17,03°.

Ich visire nach einem auf das südliche Fenster in den Cabineten gestellten Papierblatte; der Himmel ist völlig bedeckt.

Ich habe ebenfalls den Winkel der gleichwerthigen Polarisationen gesucht.

Die schwachen Bilder sind gleich intensiv unter dem Winkel von 18,04°, wenn die Alhidade links, und von 16,78°, wenn sie rechts steht; das Mittel der beiden Bestimmungen ist 17,41°. Die starken Bilder sind gleich intensiv unter dem Winkel von 17,75°, wenn die Alhidade links, und von 16,24°, wenn sie rechts steht; das Mittel der beiden Bestimmungen ist 16,99°.

18. November 1815.

Bestimmung des Winkels, unter welchem vier parallele Glasspiegel ebensoviel Licht reflectiren, als sie durchlassen.

Die beiden Bilder sind gleich unter dem Winkel von 22,4°, wenn die Alhidade links, und von 21°, wenn dieselbe rechts steht; das Mittel dieser Bestimmungen ist 21,7°. Diese Beobachtungen sind am Morgen gemacht worden; man visirte nach einem vor das nordöstliche Fenster der Cabinete gestellten Papierblatte.

Ich suchte dann mit dem Prisma den Winkel gleichwerthiger Polarisationen.

Die starken Bilder sind gleich intensiv unter dem Winkel von 21,74°, wenn die Alhidade links, und von 21,47°, wenn dieselbe rechts steht; das Mittel dieser beiden Bestimmungen ist 21,6°.

Die beiden ſchwachen Bilder ſind gleich intenſiv unter dem Winkel von 21°, wenn die Alhidade links, und von 23,5°, wenn ſie rechts ſteht; das Mittel der beiden Beſtimmungen iſt 22,25°.

21. November 1815.

Beſtimmung des Winkels, unter welchem vier parallele Spiegel ebenſoviel Licht reflectiren, als ſie durchlaſſen.

Dieſer Winkel wurde zu 21,6° gefunden, als die Alhidade links, und zu 20,2°, als dieſelbe rechts ſtand; das Mittel iſt 20,9°.

Die ſchwachen Bilder erſcheinen gleich intenſiv unter dem Winkel 22,5°.

In der Lambert'ſchen Tafel (Photometrie S. 210) ſteht, daß wenn bei der Incidenz von 80° das einfallende Licht 1 iſt, das an der erſten Oberfläche reflectirte durch 0,0203, und das auf die zweite Fläche fallende Licht durch 0,9797 ausgedrückt wird. Lambert findet, daß an dieſer zweiten Fläche die reflectirte Lichtmenge 0,0450 der einfallenden beträgt, wenn die Neigung 80° iſt, und 0,0448 bei ſenkrechter Incidenz. Nehmen wir das Mittel zwiſchen dieſen beiden Zahlen, ſo erhalten wir 0,0449, und indem wir daſſelbe mit 0,9797 multipliciren, werden wir 0,04399 für das an der zweiten Fläche reflectirte Licht erhalten. Geht dies Licht dann durch die erſte Fläche zurück in der Luft, ſo muß es in dem Verhältniß von 1 : 0,9551 geſchwächt werden, wodurch es auf 0,042 reducirt wird; dies iſt aber das Doppelte der Zahl 0,0203, welche das an der erſten Fläche reflectirte Licht darſtellt. Unterſucht man alſo die beiden Schatten eines ſehr dünnen Körpers, von denen der eine auf der erſten und der andere auf der zweiten Fläche eines planparallelen Glaſes gebildet wird, ſo würde man einen ſehr merklichen Intenſitätsunterſchied bemerken müſſen, und zwar ganz zu Gunſten des von der zweiten Fläche reflectirten Schattens, was aber nicht zutrifft.

XXVI.

Ueber das Leslie'ſche Photometer.*)

Leslie's Photometer, (ich verſtehe darunter das Differentialther-

*) Nicht veröffentlichte Notiz, die bei Gelegenheit einer von Melloni am 2. Sep-

mometer dieſes Phyſikers, deſſen eine Kugel z. B. durch eine leichte Vergoldung undurchſichtig gemacht worden iſt) beſitzt die ſeltſame Eigenſchaft zu ſteigen, wenn es von dem directen oder reflectirten Sonnenlichte getroffen wird; zu ſinken, wenn man es dem von unſern Kaminfeuern ausgehenden Lichte ausſetzt, und bei der Einwirkung des von einer Argand'ſchen Lampe ausgehenden Lichtes faſt ſtationär zu bleiben. Dieſe drei Zuſtände, der ſtationäre, die aufſteigende und die abſteigende Bewegung des Photometers, erfordern nicht, daß das Licht, welches ſie hervorbringt, eine beſtimmte Intenſität habe, wenigſtens wenn man nur auf die Richtung oder das Fehlen einer Verſchiebung*) Rückſicht nimmt.

Beim erſten Blicke wird Jeder merken, welche Rolle hier die dunkeln Wärmeſtrahlen von verſchiedener Beſchaffenheit und ungleicher Abſorptionsfähigkeit ſpielen, die ſich den verſchiedenen Lichtern beigemengt finden; ebenſo wird man ſogleich erkennen, daß es ſtets möglich iſt, künſtlich eine Combination aus Licht und irgend einer gegebenen Wärme herzuſtellen, welche ohne Wirkung auf das Photometer bleibt, kurz eine photometriſch neutrale Miſchung zuſammen zu ſetzen oder eine negative Miſchung durch eingeſchaltete Subſtanzen auf dieſen Zuſtand zu bringen.

---

tember 1839 der Akademie der Wiſſenſchaften gemachten Mittheilung über die Durchlaſſung der ſtrahlenden Wärme geſchrieben wurde. Arago hat in den Bericht der Sitzung nur die folgenden Zeilen aufgenommen: „Bei Gelegenheit des zuvor geleſenen Briefs, aus welchem man erſieht, daß Melloni mit ſeiner gewohnten Geſchicklichkeit die ungleichen Vermögen der verſchiedenen Wärmeſtrahlen, woraus beſonders die Ausſtrahlungen aus erhitzten irdiſchen Körpern zuſammengeſetzt ſind, die Körper zu durchdringen, verfolgt, führte Arago einen vor mehr als 20 Jahren mit dem Leslie'ſchen Photometer gemachten Verſuch an, der ein ſehr einfaches Mittel liefert, um, ohne eine Meſſung nöthig zu haben, zu entſcheiden, ob dieſe Wärmeſtrahlen in mehr oder minder großer Menge reflectirt werden, als die Lichtſtrahlen.“ — Vergleiche über denſelben Gegenſtand die 2. Abhandlung über Photometrie S. 172, und den Aufſatz über die erwärmende und chemiſche Wirkung des Lichtes im 7. Bande der ſämmtlichen Werke.

*) Ich nenne ſo die Bewegung der Flüſſigkeit, welche von der undurchſichtigen Kugel gegen die durchſichtige hin erfolgt; tritt die umgekehrte Bewegung ein, ſo ſagen wir, das Photometer ſinkt.

Ist die Mischung einmal gefunden, und in Bezug auf ihre directe Einwirkung geprüft, so kann man sie nach erlittener Reflexion wieder auf das Instrument gelangen lassen. Bleibt dann die Flüssigkeit gleichfalls stationär, so wird dies ein Beweis sein, daß die Reflexion die relativen Mengen der verschiedenen in dem gesammten Bündel enthaltenen leuchtenden und dunkeln Strahlen in keiner Weise geändert hat.

Das Eigenthümliche dieser Methode ist, daß sie keine eigentlichen Messungen erfordert; eine bloße Marke, ein einfacher Strich auf der Röhre, um den unveränderlichen Stand der Flüssigkeit nachzuweisen, genügt vollständig.

[In dem 3. Bande des Kosmos S. 134 findet sich folgender Auszug aus einem im Mai 1850 von Arago an Humboldt geschriebenen Briefe:]

„Es existirt kein eigentliches Photometer, d. h. ein Instrument, welches die Intensität eines isolirten Lichtes angibt. Das Leslie'sche Photometer, mittelst dessen man die Kühnheit gehabt hat, das Licht des Mondes mit dem Lichte der Sonne durch Wärmewirkungen zu vergleichen, ist vollständig mangelhaft. Ich habe nämlich gezeigt, daß dies angebliche Photometer steigt, wenn man es dem Sonnenlichte aussetzt; sinkt, wenn es von dem Lichte des gewöhnlichen Feuers getroffen wird, und vollkommen stationär bleibt, wenn das Licht einer Argand'schen Lampe auffällt. Alles was man bisher hat thun können, besteht darin, zwei neben einander vorhandene Lichter unter sich zu vergleichen; und selbst gegen diese Vergleichung läßt sich nur dann kein Einwurf erheben, wenn man diese beiden Lichter durch eine allmäliche Schwächung des stärkeren Lichtes gleichmacht. Als Kennzeichen dieser Gleichheit habe ich die farbigen Ringe benutzt. Wenn man zwei Linsen von großer Brennweite aufeinander legt, so bilden sich um den Berührungspunkt sowohl im reflectirten als im durchgegangenen Lichte Ringe. Die reflectirten Ringe sind zu den durchgelassenen complementär gefärbt; diese beiden Ringsysteme neutralisiren sich wechselseitig, wenn die beiden Lichter, die sie bilden und gleichzeitig auf den beiden Linsen anlangen, einander gleich sind.

„Im entgegengesetzten Falle sieht man Spuren entweder der reflectirten oder der durchgelassenen Ringe, je nachdem das Licht, welches

die erstern bildet, stärker oder schwächer ist, als dasjenige, welchem die zweiten ihre Entstehung verdanken; in diesem Sinne allein spielen die farbigen Ringe bei den Messungen des Lichtes, mit denen ich mich beschäftigt habe, eine Rolle."

XXVII.

Interferenzen der chemischen Wirkungen des Lichtes.

[Fresnel hat in einem Nachtrage zu dem Supplemente zu Thomson's System der Chemie, das 1822 erschienen ist, die Beschreibung eines Versuches von Arago gegeben, wodurch bewiesen wird, daß die chemische Einwirkung der Lichtstrahlen durch ihre Interferenzen modificirt wird, und je nach dem Unterschiede der von den interferirenden Wellensystemen durchlaufenen Wege in ihrer Intensität sich ändert. Da Arago niemals selbst diesen Versuch beschrieben hat, so muß der von Fresnel redigirte Text hier aufgenommen werden. In den Protocollen der Sitzungen des Längenbüreau vom 22. August 1821 findet sich nur die folgende Erwähnung einer von Arago gemachten Mittheilung: „Wenn ein Lichtstrahl auf die Oberfläche von Chlorsilber fällt, so wird dieses Salz zersetzt; fallen aber zwei Strahlen gleichzeitig auf denselben Punkt, so daß Interferenz eintritt, so erfolgt keine Zerlegung."

Der Herausgeber der französischen Uebersetzung von Thomson's Systeme der Chemie motivirt die Aufnahme der Nachschrift zum Supplemente mit folgenden Worten: „Der Druck dieses Bandes war bereits vorgeschritten, als dieser Versuch Arago's bekannt wurde. Sein Gegenstand ist von so großem Interesse, und die dadurch festgestellte Thatsache für die chemische Wissenschaft so wichtig, daß man geglaubt hat, denselben hier als Zusatz zu dem Artikel über das Licht, mit welchem dieses Supplement beginnt, geben zu müssen." Er sagt außerdem in einer Note: „Diese Erläuterung des Arago'schen Versuches rührt von Fresnel her."

Diese Beschreibung lautet folgendermaßen:

„In der Darlegung seiner Untersuchungen über das Licht hatte Fresnel Folgendes bemerkt:

„Bei der Annahme des Undulationssystemes, das allein sich mit

den Beugungsphänomenen vereinigen läßt, konnte man die chemiſche Wirkung des Lichtes nicht als Reſultat einer Verbindung der Lichtmolecüle mit den Körpern betrachten, weil nach dieſer Theorie die Intenſität des Lichtes nicht von der Menge des leuchtenden Fluidums, ſondern von der Lebhaftigkeit ſeiner Schwingungen abhängt.

„Daraus folgt offenbar, daß die chemiſche Wirkung des Lichtes in einer mechaniſchen Wirkung des Aethers auf die Molecüle der Körper beſtehen muß, die er von allen Seiten umgibt und zu neuen Gleichgewichtslagen, zu neuen ſtabilern Verbindungen zwingt, wenn ſeine Schwingungen an Intenſität zunehmen. Man begreift, daß die Beſchaffenheit der Schwingungen auf die chemiſchen Wirkungen, die ſie erzeugen, einen Einfluß ausüben muß.

„Arago hat ſo eben durch einen ſehr intereſſanten Verſuch dieſe Anſicht Fresnel's beſtätigt, und dadurch direct bewieſen, daß die chemiſche Wirkung des Lichtes nicht einer Verbindung ſeiner Molecüle mit denen der Körper zugeſchrieben werden kann.

„Verſuch. Als Arago die Streifen, welche durch die Interferenz zweier auf zwei ſchwach gegen einander geneigten Spiegeln reflectirter Lichtbündel entſtehen, auf friſch bereitetes Chlorſilber fallen ließ, fand er, daß auf demſelben ſchwarze, gleichweit von einander abſtehende und durch weiße Zwiſchenräume getrennte Linien entſtanden; was beweiſt, daß die chemiſche Einwirkung der Lichtſtrahlen durch ihre Interferenz, ebenſo wie ihre optiſchen Eigenſchaften, eine Aenderung erleidet, und in ihrer Intenſität je nach dem Unterſchiede der durchlaufenen Wege variirt. Wenn dieſer Unterſchied eine ganze Anzahl Wellenlängen beträgt, ſo ſtimmen die beiden Wellenſyſteme in ihrem Gange völlig überein, und ihre Schwingungen haben die größtmögliche Intenſität; die chemiſchen Wirkungen müſſen dann ihr Maximum erreichen. An den Punkten dagegen, wo der Unterſchied der durchlaufenen Wege eine ungrade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, iſt der Gegenſatz vollſtändig; die chemiſchen Wirkungen müſſen alſo, ebenſo wie die Lichtempfindungen, welche dieſelben Punkte auf das Auge hervorbringen, Null ſein; was auch der Verſuch beſtätigt. Nur muß man bemerken, daß weil die äußerſten violeten Strahlen diejenigen ſind, welche die größte chemiſche Wirkung ausüben, die ſchwarzen Linien auf dem

Chlorsilber nicht den durch das weiße Licht hervorgebrachten hellsten Streifen entsprechen können, da diese letztern ziemlich auf die Punkte völliger Uebereinstimmung der gelben Strahlen fallen. Dieser Versuch liefert ein einfaches und sehr genaues Mittel, um die mittlere Länge der Lichtwellen zu bestimmen, welche die stärkste chemische Wirkung ausüben: es genügt dazu, die zwischen den Mitten der schwarzen Linien auf dem Chlorsilber befindlichen Zwischenräume zu messen und daraus mittelst einer von uns gegebenen Formel die Länge der Wellen, welche sie hervorbringen, herzuleiten.

„Young hat seit langer Zeit gezeigt, daß wenn man das durch die farbigen Ringe modificirte Licht auf Chlorsilber fallen läßt, eben diese Modificationen auch in der chemischen Wirkung hervortreten; Arago's Versuch hat aber vor Young's Versuche den Vorzug, direct zu beweisen, daß die ungleiche Wirkung des Lichtes an den verschiedenen Punkten des Raumes, wo die beiden Lichtbündel sich vereinigen, von ihrer gegenseitigen Einwirkung abhängt, weil man, sobald man eins dieser Bündel hinwegnimmt, das Chlorsilber in dem Raume, wo sich bei dem gleichzeitigen Auffallen der beiden Bündel abwechselnd helle und dunkle Linien bildeten, eine gleichförmige Färbung annehmen sieht; während es bei Young's Versuche mit den gefärbten Ringen unmöglich ist, die beiden Wellensysteme zu trennen. Man kann auch durch Arago's Versuch beweisen, daß in den Punkten, welche den einer ungraden Anzahl halber Wellenlängen gleichen Wegeunterschieden entsprechen, die chemische Wirkung des Lichtes unmerklich ist, wenn die beiden reflectirten Bündel daselbst gleichzeitig anlangen, während dieselbe wieder erscheint, wenn man eines der Bündel aufhält. Man sieht, daß diese Thatsache, unabhängig von jeder Theorie, die von mehreren Gelehrten angenommene Hypothese, wonach die chemischen Wirkungen des Lichtes aus seiner Verbindung mit den Körpern hervorgehen sollen, über den Haufen wirft; denn wäre dem so, so würde stets um so mehr Wirkung erzeugt werden müssen, je beträchtlicher die Anzahl der Lichtmolecüle wäre, und man dürfte in keinem Falle die chemische Wirkung des Lichtes erhöhen können, indem man einen Theil der einfallenden Strahlen hinwegnähme.

„Arago's Versuch schließt noch eine merkwürdige Thatsache ein,

die ſich in Young's Verſuche nicht fand, weil in ihm die interferirenden Strahlen parallel ſind und nach ihrer Vereinigung nicht wieder auseinander gehen. Da aber bei Arago's Experiment die beiden Strahlen von den einen merklichen Winkel miteinander machenden Spiegeln zurückgeworfen werden, ſo tritt der Fall ein, daß eben dieſelben Strahlen, welche in einem Punkte durch den vollſtändigen Gegenſatz zu den mit ihnen zuſammentreffenden ihre leuchtenden und chemiſchen Eigenſchaften verlieren, dieſelben Eigenſchaften wieder gewinnen, wenn ſie etwas weiterhin ſich unter andern Bedingungen befinden. Dies beweiſt, wie Arago bemerkt, daß dieſe Eigenſchaften in ihnen nicht zerſtört, ſondern nur momentan an den Stellen neutraliſirt waren, wo entgegengeſetzt gerichtete Bewegungen ihre Schwingungen aufhoben. Mittelſt der beigefügten Figur wird 21 man leicht dies Spiel der Interferenzen begreifen.

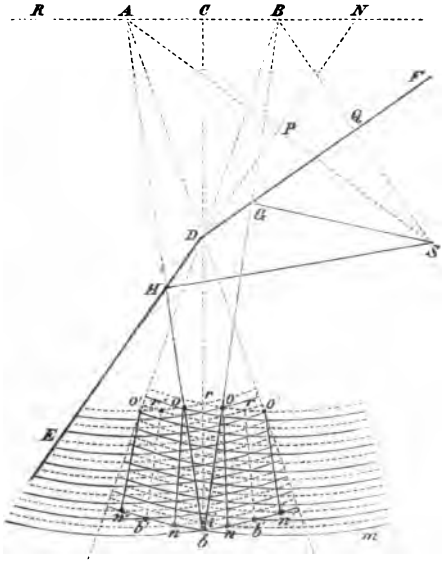


Fig. 21. — Interferenzen der von zwei unter einem ſehr kleinen Winkel aneinanderſtoßenden Spiegeln reflectirten Wellen.*)

„Arago's Verſuch erfordert, wenn man ihn mit Erfolg wieder-

*) „Dieſe Figur ſtellt einen Durchſchnitt der beiden Spiegel und der reflectir-

holen will, mehrere Vorsichtsmaaßregeln. Zuerst ist nöthig, daß die in das dunkle Zimmer reflectirten Sonnenstrahlen durch einen guten

---

ten Wellen durch eine durch den leuchtenden Punkt senkrecht auf diese Spiegel gelegte Ebene dar. ED und DF sind die Durchschnitte dieser Ebene mit den beiden Spiegeln; der leuchtende Punkt befindet sich in S, und A und B stellen die Orte seiner beiden Bilder dar, die erhalten werden, wenn man von S auf die beiden Spiegel ED und DF die senkrechten SA und SB fällt, und PA = SP, sowie QB = SQ nimmt; nach den auf diese Weise bestimmten Punkten convergiren nämlich die auf dem ersten und zweiten Spiegel dem bekannten Reflexionsgesetze gemäß zurückgeworfenen Strahlen. Um also z. B. die Richtung des in einem beliebigen Punkte G des Spiegels DF reflectirten Strahles zu erhalten, genügt es durch B und G eine grade Linie zu ziehen: ihre Verlängerung wird der zurückgeworfene Strahl sein. Man muß nun bemerken, daß nach der Construction, die uns die Lage des Punktes B gegeben hat, die Abstände BG und SG gleich sind, und daß folglich der gesammte Weg des vom Punkte S ausgegangenen und durch Reflexion nach b gelangenden Strahles genau derselbe ist, als ob derselbe vom Punkte B ausgegangen wäre. Da diese mathematische Schlußfolgerung auf alle andern von demselben Spiegel reflectirten Strahlen anwendbar ist, so sieht man, daß diese Strahlen gleichzeitig auf den verschiedenen Punkten des mit dem Halbmesser Bb um B als Mittelpunkt beschriebenen Kreisumfanges n'bm anlangen müssen; dieser Kreisumfang wird also die Oberfläche der reflectirten Welle bei ihrer Ankunft in b*) oder genauer den Durchschnitt dieser Oberfläche mit der Ebene der Figur darstellen. In ähnlicher Weise haben die vom Spiegel ED reflectirten Wellen ihren Mittelpunkt in A.

„Um die beiden reflectirten Wellensysteme darzustellen, hat man von A und B als Mittelpunkten gleich weit von einander abstehende, und zwar um einen Raum, den man der Länge einer halben Welle gleich nimmt, getrennte Reihen von Kreisbogen beschrieben. Um die entgegengesetzt gerichteten Bewegungen zu unterscheiden, sind alle Kreisbogen, auf denen die Aethermolecüle in dem betrachteten Augenblicke als mit dem Maximum der Geschwindigkeit vorwärts begabt angenommen werden, vollständig ausgezogen, und dagegen diejenigen, auf denen diese Molecüle das Maximum der Geschwindigkeit rückwärts besitzen, nur punktirt gezeichnet worden. Daraus ergibt sich, daß die Durchschnitte der punktirten Kreise mit den voll ausgezogenen die Punkte des vollständigen Gegensatzes und folglich die Mitten der dunkeln Streifen sind; während dagegen die Durchschnitte der gleichartigen Kreise die Punkte der

*) Oberfläche der Welle nenne ich die Oberfläche, deren sämmtliche Punkte in demselben Augenblicke stets auf dieselbe Weise erschüttert werden. Betrachtet man sie z. B. am Anfange, in der Mitte oder zu Ende, so ist sie diejenige Fläche, auf welcher die oscillatorische Bewegung Null ist; nimmt man sie in der Mitte der ersten oder zweiten Hälfte der Welle, so ist sie diejenige Fläche, in deren ganzer Ausdehnung die absoluten Geschwindigkeiten der Aethermolecüle ihr Maximum erreichen.

Helioſtat in einer conſtanten Richtung erhalten werden, damit die Streifen, die ſich auf die mit Chlorſilber überzogene Oberfläche projiciren, wenigſtens während 10 Minuten keine merkliche Verrückung erleiden; und damit die ſehr kleinen Verrückungen, welche ſie während dieſes Zeitraumes noch erleiden könnten, der Schärfe der ſchwarzen Linien, die ſie nach und nach auf dem Chlorſilber erzeugen, keinen Eintrag thun, iſt es gut, den Streifen dadurch die größtmögliche Breite zu geben, daß man die Oberfläche des einen Spiegels faſt in die Verlängerung der Fläche des andern ſtellt. Anſtatt eine ſphäriſche Linſe in den Laden des dunklen Zimmers einzuſetzen, um einen leuchtenden Punkt zu bilden, (was in dem vorliegenden Falle ein viel zu ſchwaches Licht geben würde), muß man eine cylindriſche Linſe anwenden; eine ſolche Linſe gewährt ein vortreffliches Mittel, um die Lichtintenſität beträchtlich zu erhöhen. Wenn man aber auf dieſe Weiſe eine Lichtlinie anſtatt eines Lichtpunktes erzeugt, ſo iſt es unerläßlich, ſie in eine mit den Streifen ſehr genau parallele Richtung zu drehen, wie wir dies bereits geſagt haben, als wir dieſes ſcharfſinnige von Arago ausgedachte Verfahren anführten. An der Schärfe der Streifen erkennt man leicht, wann dieſe Bedingung erfüllt iſt. Die in dem eben angeführten Verſuche benutzte cylindriſche Linſe hatte 1 Centimeter Brennweite; die beiden Metallſpiegel waren kaum 60 Centimeter davon entfernt, und die mit Chlorſilber überzogene Platte ſtand faſt in demſelben Abſtande von den Spiegeln. Dieſe große Annäherung der verſchiedenen Theile des Apparates war nothwendig, um den Strahlen die nöthige Intenſität zu erhalten. Man muß bemerken, daß ſie wegen

---

vollſtändigen Uebereinſtimmung oder die Mitten der hellen Streifen geben. In der Figur ſind nun die Durchſchnitte der gleichartigen Bogen durch die punktirten Linien br, b'r', b'r' u. ſ. w., und die Durchſchnitte der ungleichartigen Bogen durch die vollen Linien no, no n'o', n'o' u. ſ. w. dargeſtellt: die letzteren zeigen die ſucceſſiven Lagen oder Trajectorien der Mitten der dunkeln Streifen, und die erſtern die Trajectorien der Mitten der hellen Streifen.

„Es hat in dieſer Figur die wirkliche Länge der Lichtwellen ungeheuer vergrößert und die gegenſeitige Neigung der beiden Spiegel übertrieben werden müſſen. Man darf dieſelbe alſo nicht als ein genaues Abbild der Vorgänge, ſondern nur als ein Mittel, das Spiel der Interferenzen in den ſich unter einem merklichen Winkel ſchneidenden Wellen anſchaulich zu machen, betrachten.

der merklichen Breite der durch eine Linse von 1 Centimeter Brennweite erzeugten Lichtlinie etwas feine Streifen sehr undeutlich gemacht haben würde; deshalb besonders ist es sehr wichtig, den Streifen die größtmögliche Breite zu geben. Man würde mit einer Linse von kürzerer Brennweite wohl eine feinere Lichtlinie erhalten, indeß würde die Intensität des Lichtes in demselben Verhältnisse geschwächt werden; und um diese Schwächung zu compensiren, müßte man Spiegel und Chlorsilber verhältnißmäßig nähern; was dieselbe Verwaschung in den Streifen hervorbringen würde, wenn letztere nicht eine hinreichende Breite hätten. Diese Bedingung ist am schwierigsten zu erfüllen; aber mit etwas Geschick und viel Geduld gelangt man immer zum Ziel.]

XXVIII.

Beobachtungen über das Licht bei der Compression der Luft und des Sauerstoffs.*)

Bald nach Entdeckung des Compressionsfeuerzeuges fand Saiffy in Lyon, daß Sauerstoff, atmosphärische Luft und Chlor, wenn man sie in dieses Feuerzeug bringt, durch eine plötzliche Compression leuchtend werden, während die übrigen Gase unter ganz ähnlichen Umständen vollständig dunkel bleiben.

Diese Resultate schienen mit Recht sehr merkwürdig, und man war allgemein der Ansicht, sie als die Wirkungen besonderer Eigenschaften zu betrachten, deren Vorhandensein in dem einen oder andern Gase nur durch einen directen Versuch entdeckt werden könnte. Von meinem Collegen und Freunde Dulong weiß ich indeß, daß er in seinen Vorträgen seit langer Zeit das Phänomen aus einem ganz andern Gesichtspunkte ansah; daß er darin nur die bloße Wirkung einer durch Entwickelung von Wärme, wie sie jede heftige Compression der Gase zur Folge hat, hervorgerufenen Verbrennung sah; daß seiner Meinung nach die verbrannte Substanz die fette oder ölige Materie war, womit man das Leder des Kolbens der kleinen Pumpe getränkt hatte, und daß hiernach also, der Erfahrung entsprechend, nur diejenigen Gase,

*) Nicht veröffentlichte Notiz.

welche man verbrennende nennt, eine Lichtentwickelung hervorrufen dürften.

Diese Erklärung beseitigte Alles, was die Erscheinung Auffälliges dargeboten hatte; so natürlich sie aber auch erscheinen mußte, so konnte man sie doch beim Mangel jedes directen Beweises nur als eine bloße Hypothese betrachten. Diese Lücke ist jetzt ausgefüllt worden; denn als Thenard bei seinen Versuchen die Compressionen in einem vollkommen gereinigten Pumpenkörper und mittelst eines Kolbens aus gut mit Wasser getränktem Filze bewirkte, oder noch besser, als er die mit dem Gase in Berührung befindliche Fläche des Kolbens mit einem Metallblättchen belegte, so wurden Sauerstoff, atmosphärische Luft und Chlor nicht leuchtender als Stickstoff, Wasserstoff und Kohlensäure.

Ich darf hier nicht zu erwähnen vergessen, daß Thenard keine Kenntniß von Dulong's Erklärung hatte, als er die eben berichteten interessanten Versuche unternahm, welche in Bezug auf die durch die Compression bewirkten Wärmeentwickelungen alle Gase definitiv in eine und dieselbe Kategorie stellen.

Bei Gelegenheit dieser Arbeit hat Thenard beobachtet, daß ein Stück Tannenholz im Sauerstoffgase unter dem gewöhnlichen Drucke bei der Temperatur von 350° C. sich nur dunkelbraun färbt; unter einem Drucke von 260 Centimeter tritt dagegen vor dem 252sten Grade die Entzündung ein. In beiden Versuchen lag das Tannenholz nur mit einigen Punkten auf den Glaswänden der Glocke, welche das Gas enthielt. (Thenard's Abhandlung ist 1830 im 44. Bande der Annales de chimie et de physique S. 181 erschienen.)

XXIX.

Ueber die relativen Intensitäten verschiedener Lichtquellen.

Die Lichtquellen, die man in den physikalischen Cabineten benutzen kann, um die relativen Intensitäten verschiedener natürlicher Lichter zu messen, sind zu veränderlich, als daß ich hätte daran denken dürfen, mein Photometer mit einem der gewöhnlich angewandten Apparate zu

beleuchten.*) Man würde alle Urſachen haben ſtudiren müſſen, welche die Intenſität eines irdiſchen Lichtes zu ändern ſtreben, mag es von einer chemiſchen Verbindung herrühren, oder die Elektricität zum Urſprunge haben, und mag es von einer mehr oder weniger großen Wärmemenge begleitet ſein.

Franklin hatte ſeit langer Zeit bemerkt, daß wenn man die Flammen zweier Kerzen in Berührung bringt, ſofort mehr Licht entſteht, als wenn man ſie durch einen Abſtand getrennt brennen läßt, und er ſchrieb bereits dieſe Wirkung der Erhöhung der Temperatur zu, welche die Annäherung der Flammen nothwendig herbeiführt.

Rumford vervollkommnete dieſen Verſuch und zeigte, daß eine aus mehreren platten, einander dergeſtalt genäherten Dochten, daß ſie ſich gegenſeitig Wärme mittheilen können, gebildete Lampe für einen beſtimmten Oelverbrauch beträchtlich mehr Licht gibt, als wenn eben dieſe Dochte alle getrennt brennen. Es folgt daraus, daß während der Verbrennung eines platten Dochtes in freier Luft viel Oel als reiner Verluſt verdampft.

Es lag nahe zu denken, daß man bei Anſtellung des Verſuchs mit Lampen von doppeltem Luftzuge einen merklich geringern Verluſt finden würde. In der That haben Fresnel und ich**) gefunden, daß ſich aus zwei concentriſchen Dochten ein Brenner bilden läßt, der mit einem paſſenden Schornſteine verſehen unter den günſtigſten Umſtänden ein Licht gleich dem von 5 Carcel'ſchen Lampen gibt, während der entſprechende Oelverbrauch nur dem von $4^1/_2$ ſolcher Lampen entſpricht. Mehr haben wir niemals zu erreichen vermocht. Ich ſetze ſogar hinzu, daß wir bei den Brennern mit drei oder vier concentriſchen Dochten, welche die Helligkeit von 10 bis 20 gewöhnlichen Zuglampen geben, ſtets gefunden haben, (die von Carcel conſtruirten Argand'ſchen Lampen zur Vergleichung genommen), daß die verzehrte Oelmenge ſehr nahe der erzeugten Lichtmenge proportional iſt.

Die in England gebräuchlichen Argand'ſchen Lampen haben mir im Allgemeinen weniger hell geſchienen, als die Carcel'ſchen. Die

*) Vergl. die zweite Abhandlung über Photometrie S. 149.

**) Vergl. den Aufſatz über die Leuchtthürme, Bd. 6 S. 18.

Ueberlegenheit dieſer letztern muß größtentheils an der ſinnreichen Weiſe liegen, wie in ihnen der Docht mit Oel geſpeiſt wird; ich müßte mich aber ſehr täuſchen, wenn die cylindriſche Form, welche die meiſten bei unſern Nachbarn conſtruirten gläſernen Zugröhren haben, nicht auch ein gutes Theil dazu beitrüge. Wir haben uns verſichert, daß die eingezogene Stelle des gläſernen Zugrohrs durch ihre Form und Stellung einen ſehr merklichen Einfluß auf die Weiße und Lebhaftigkeit der Flamme ausübt.

Vielleicht wird man es bei dieſer Gelegenheit nicht ungern ſehen, hier die Reſultate der von Rumford angeſtellten photometriſchen Verſuche zu finden.

Eine gewöhnliche Argand'ſche Lampe, die mit ihrer ganzen Helligkeit brennt, gibt ungefähr ſoviel Licht als neun gute gehörig geputzte Kerzen.

Es ſei die Intenſität des Lichtes, welches eine gut geputzte gewöhnliche Kerze gibt, gleich 100

Hört man auf die Kerze zu putzen, ſo wird dieſe Intenſität in

11 Minuten verringert bis 39

In 19 Minuten bis 23

In 29 Minuten bis 16

Wird die Kerze dann von Neuem geputzt, ſo ſteigt das Licht wieder auf. 100

Bei einem Wachslichte liegen die gewöhnlichen Schwankungen in der Helligkeit zwiſchen 100 und 60.

Die relativen Gewichte verſchiedener brennbarer Subſtanzen, die man verbrennen muß, um eine und dieſelbe Lichtmenge zu erhalten, können nach folgender Tabelle berechnet werden:

		Gewicht des verbrannten Stoffes.
Bienenwachs. . . .	Die Kerze iſt ſtets gut geputzt.	100
Talg.	Die Kerze ſtets gut geputzt.	101
	Die Kerze hat immer eine lange Schnuppe.	229
Olivenöl.	In einer gewöhnlichen Argand'ſchen Lampe.	110
	In einer gewöhnlichen Lampe mit breiter, heller und nicht rußender Flamme. . . .	129

		Gewicht des verbrannten Stoffes.
Rüböl	In einer gewöhnlichen Lampe.	125
Leinöl	In einer gewöhnlichen Lampe.	120

Man ſieht aus dieſer Tabelle, wie beträchtlich der Verbrauch an Talg zunimmt, wenn eine Kerze nicht geputzt wird.

In einer Abhandlung von Brande, die 1821 in den Philosophical Transactions erſchienen iſt, findet man mehrere Verſuche über die leuchtenden und erwärmenden Eigenſchaften des ölbildenden Gaſes, des aus der Steinkohle gewonnenen Gaſes, und des durch die Zerſetzung des Oeles erhaltenen Gaſes, die uns einer Erwähnung werth erſcheinen. Wir wollen mit den auf das reine ölbildende Gas bezüglichen Verſuchen beginnen.

Ein Gasſtrahl, der unter einem Drucke von 13^{mm} Waſſer aus einer Oeffnung von 0,42^{mm} Durchmeſſer ausſtrömte, gab beim Brennen ein einer gewöhnlichen Wachskerze gleiches Licht, als der Gasverbrauch in der Stunde auf 10,487 Liter ſtieg.

Mit dem aus der Steinkohle gewonnenen Gaſe erreichte derſelbe Strahl die Wachskerze, als der Verbrauch in der Stunde 13,11 Liter betrug.

Brande wandte bei ſeinen Verſuchen Wachskerzen an, von denen 9 aufs Kilogramm gingen.

In dem folgenden Verſuche zündete Brande gleichzeitig 12 auf dem Umfange eines Ringes von 18^{mm} Durchmeſſer vertheilte Strahlen von 0,42^{mm} Oeffnung an, umgab dieſe Flamme mit einem cylindriſchen Schornſteine, ähnlich wie bei den Argand'ſchen Lampen und regulirte die Oeffnung der Hähne dergeſtalt, daß die Flamme nicht rußte. Der Druck, welcher den Austritt des ölbildenden Gaſes bewirkte, betrug wie ſo eben 13^{mm} Waſſer. Auf dieſe Weiſe fand er, daß die zuſammengeſetzte Flamme eine dem Lichte von 10 Wachskerzen gleiche Helligkeit gab, wenn der Verbrauch des ölbildenden Gaſes in der Stunde 42,6 Liter erreichte.

Oben haben wir gefunden, daß ein einfacher Strahl bei einem Verbrauche von 10,487 Liter ſoviel Licht erzeugte, als eine Wachskerze;

dieſe Zahl mit 10 multiplicirt gibt 104,87 Liter. Dies würde alſo bei einfachen Strahlen die Gasmenge ſein, welche 10 Wachskerzen entſprechend erſcheinen müßte. Der directe Verſuch hat nur 42,6 Liter gegeben; dadurch allein alſo, daß man mehrere Strahlen neben einander brennen ließ, iſt die von einem beſtimmten Gasvolumen gelieferte Lichtmenge in einem ſehr großen Verhältniſſe geſteigert worden.*)

Nach Brande erlangt man eine Stunde lang eine Lichtmenge, gleich der Stärke von 10 Wachskerzen, indem man verbrennt

42,6 Liter reinen ölbildenden Gaſes;
79,87 Liter aus Oel gewonnenen Gaſes;
214,98 Liter aus Steinkohle erhaltenen Gaſes.

Bei den Verſuchen mit dem aus Oel gewonnenen Gaſe benutzte Brande den Apparat mit 12 Strahlen, jeder von 0,42^{mm} Oeffnung, der ihm bei dem reinen ölbildenden Gaſe gedient hatte. Da die Erfahrung aber gelehrt hatte, daß die Oeffnungen beträchtlich weiter ſein müſſen, wenn das aus Steinkohle erhaltene Gas zweckmäßig brennen ſoll, ſo wurden bei den mit dieſem Gaſe ausgeführten Verſuchen gleichzeitig 12 Strahlen, jeder von 0,84^{mm} Oeffnung, die auf dem Umfange eines kreisförmigen Ringes von 29^{mm} Durchmeſſer vertheilt waren, angezündet.

Ein Gemenge aus 3 Theilen ölbildenden Gaſes und 1 Theil Waſſerſtoff gab daſſelbe Licht wie das aus Oel gewonnene Gas.

Um die Wärmeeigenſchaften dieſer verſchiedenen Arten von Flammen zu prüfen, ſpeiſte man die zuvor erwähnte Lampe von 12 Strahlen nach einander mit Oelgas, mit Steinkohlengas und mit ölbildendem Gaſe. Oberhalb des gläſernen Cylinders, jedoch in ſolchem Abſtande, daß die Helligkeit der Flamme dadurch nicht verringert wurde, ſtellte

*) Um zu dem Ausſpruche berechtigt zu ſein, daß die Nähe der brennenden Strahlen die erzeugte Lichtmenge um Vieles vermehrt habe, würde erforderlich geweſen ſein, daß der einfache Strahl ebenſo wie jeder derjenigen, aus welchen der vielfache Strahl gebildet war, dem Einfluße des durch einen Glascylinder bewirkten Luftſtromes ausgeſetzt geweſen, oder aber daß die Verbrennung in beiden Fällen in freier Luft und ohne Zugrohr erfolgt wäre, welche Bedingungen indeß Brande keineswegs erfüllt hat.

man ein kleines kupfernes Gefäß von 130mm Durchmeſſer und 64mm Tiefe, das auf ſeiner untern Fläche ſchwach concav war, auf. Dies mit Waſſer gefüllte Gefäß enthielt ein Thermometer; eine kleine Oeffnung gewährte dem Dampfe einen Ausgang. Der Verſuch wurde beendigt, ſobald die Flüſſigkeit ins Kochen kam; die erhaltenen Reſultate ſind folgende:

Das Waſſer beſaß urſprünglich die Temperatur + 10° C. Um es von dieſer Temperatur auf 100° zu bringen, wurden verbrannt

14,26 Liter ölbildenden Gaſes;
20,3 Liter aus Oel gewonnenen Gaſes;
35,89 Liter aus Steinkohle erhaltenen Gaſes.

Als das Licht der durch einen Strahl ölbildenden Gaſes erzeugten Flamme in dem Brennpunkte einer planconveren Linſe auf die Kugel eines kleinen Queckſilberthermometers concentrirt wurde, bewirkte es in fünf Minuten ein Steigen um 2,5° C. Was die Linſe ſelbſt betrifft, ſo erhöhte ſich, obwohl ſie dick war, ihre Temperatur nicht.

Dieſer Verſuch, ſagt Brande, beweiſt in Uebereinſtimmung mit den Erfahrungen von Maycock und de Laroche, daß die Wärmeſtrahlen, welche von den gemeinen Brennſtoffen ausgehen, ebenſo wie die Wärmeſtrahlen der Sonne fähig ſind, durchſichtige Mittel zu durchdringen. Meines Erachtens nach citirt aber Brande mit Unrecht Maycock und Laroche als diejenigen, welche zuerſt die Eigenſchaft der aus den gemeinen Brennſtoffen ausgehenden Wärmeſtrahlen, durchſichtige Mittel zu durchdringen, beobachtet hätten. An einem andern Orte*) habe ich die chronologiſche Ordnung der experimentellen Entdeckungen, welche in dieſem wichtigen Zweige der Phyſik gemacht worden ſind, angegeben.

Durch meine photometriſchen Verſuche habe ich gefunden, daß das atmoſphäriſche Licht in der Nähe der Sonne $^1/_{500}$**) von dem mittlern Lichte des ſtrahlenden Geſtirnes beträgt; andere nach demſelben Verfahren angeſtellte Verſuche haben mir gezeigt, daß das Licht einer Wachskerze $^1/_{30}$ des Lichtes beträgt, welches die Atmoſphäre in

*) Siehe den Aufſatz über die erwärmende und chemiſche Wirkung des Lichtes gegen Ende des 7. Bandes der ſämmtlichen Werke.

**) Vergl. die fünfte Abhandlung über Photometrie S. 206.

dem Theile, der den Sonnenkörper umgibt, erhellt. Es folgt daraus, daß die Intenſität der Flamme einer Wachskerze $^1/_{1500}$ von dem Glanze beträgt, womit die Sonne uns auf der Oberfläche der Erde zu glänzen ſcheint.

Das Licht eines Argand'ſchen Brenners gibt die Helligkeit von 7, das Licht eines Gasbrenners die Helligkeit von 9 Wachskerzen. Bei den ältern Verſuchen endlich, wo ich durch meine photometriſchen Methoden zu beſtimmen ſuchte, in welchem Verhältniſſe man die Intenſität des Sonnenlichtes verringern müſſe, um es der Intenſität des Lichtes gleich zu machen, welches auf Kohlen erſchien, die mit den beiden Polen einer Säule von 300 Elementen verbunden waren, fand ich, daß das Sonnenlicht nur 4 bis 5 Mal intenſiver war, als das Licht der elektriſchen Säule.

XXX.

Ueber die relative Intenſität der verſchiedenen Theile der Sonnenſcheibe.*)

Phänomene der farbigen Polariſation lehren uns, daß der Rand der Sonne eine von dem Mittelpunkte derſelben nicht merklich verſchiedene Lichtintenſität beſitzt; denn als ich in dem Polariſkope ein Segment des Randes auf den Mittelpunkt projicirte, erhielt ich (als complementäre Ausgleichung das Roth und Blau) ein reines Weiß. In einem feſten Körper (in einer rothglühenden Eiſenkugel) umfaßt derſelbe Geſichtswinkel ein größeres Stück am Rande als im Mittelpunkte, und zwar nach dem Verhältniſſe des Coſinus des Winkels; aber in demſelben Verhältniſſe ſendet auch die größere Zahl materieller Punkte ein wegen ihrer Schiefe ſchwächeres Licht aus. Das Verhältniß des Winkels iſt natürlich für eine Gaskugel daſſelbe; da aber die Schiefe in dem Gaſe nicht denſelben ſchwächenden Einfluß, wie bei den feſten Körpern, hervorruft, ſo würde der Rand der Gaskugel leuchtender er-

*) Im 3. Bande von Humboldt's Kosmos S. 417 erſchienene Notiz, die Arago 1847 an Humboldt geſandt hatte. — Vergl. die vierte Abhandlung über Photometrie S. 190 ff.

ſcheinen, als der Mittelpunkt. Was wir die leuchtende Scheibe der Sonne nennen, iſt, wie ich durch das vollſtändige Fehlen jeder Spur von Polariſation an dem Rande der Scheibe bewieſen habe, die gasförmige Photoſphäre. Um alſo die von dem Polariſkop angegebene Gleichheit der Lichtintenſität am Rande und in der Mitte zu erklären, muß man eine äußere Hülle annehmen, welche das vom Mittelpunkte ausgehende Licht weniger als die Strahlen, welche auf dem längern Wege vom Rande zum Auge gelangen, ſchwächt (auslöſcht). Dieſe äußere Hülle bildet bei den totalen Sonnenfinſterniſſen die weißliche Corona. Das Licht, welches aus weißglühenden feſten und flüſſigen Körpern ausſtrömt, iſt partiell polariſirt, wenn die Strahlen bei ihrem Austritte mit der Oberfläche einen kleinen Winkel bilden; dagegen zeigt ſich keine merkliche Spur von Polariſation, wenn man in derſelben Weiſe durch das Polariſkop brennende Gaſe betrachtet. Dieſer Verſuch beweiſt, daß das Sonnenlicht nicht von einer weißglühenden feſten oder flüſſigen Maſſe ausgeht.

Das Licht erzeugt ſich nicht allein an der Oberfläche der Körper; ein Theil entſteht in ihrer Subſtanz ſelbſt, auch wenn dieſelbe von Platin iſt. Es iſt alſo nicht die Zerlegung des umgebenden Sauerſtoffs, welche das Licht hervorbringt. Die Ausſtrahlung von polariſirtem Lichte durch das flüſſige Eiſen iſt eine Refractionswirkung beim Uebergange in ein Mittel von geringerer Dichtigkeit. Ueberall wo Brechung eintritt, entſteht auch etwas polariſirtes Licht. Die Gaſe geben kein ſolches, weil ihre Schichten nicht hinreichende Dichtigkeit beſitzen. Verfolgt man den Mond im Verlaufe einer ganzen Lunation, ſo zeigt er mit Ausnahme der Zeit des Vollmondes und der ihm ſehr nahe liegenden Tage Polariſationswirkungen. Das Sonnenlicht findet, beſonders in den erſten und den letzten Vierteln auf der unebenen (bergigen) Oberfläche unſeres Satelliten zum Erzeugen der Polariſation durch Reflexion paſſend geneigte Ebenen.

XXXI.

Notiz über Bouguer's Verſuche in Betreff der Lichtintenſität des Randes und des Mittelpunktes der Sonne.*)

Bouguer glaubt, daß der Umſtand, welcher hindert, den zwiſchen der Lichtintenſität des Randes und des Mittelpunkts der Sonne vorhandenen Unterſchied zu bemerken, in der Unmöglichkeit liege, das Auge von dem einen Punkte zu dem andern zu führen, ohne über die dazwiſchenbefindlichen Punkte, deren Intenſitäten zwiſchen den Intenſitäten der äußerſten Punkte enthalten ſein müſſen, hinwegzugehen; der Verfaſſer macht aber die Mittel, die er zur Beſeitigung dieſes Uebelſtandes angewandt hat, nicht namhaft. Es ſcheint überdies, als ob man ſtets gegen eine Beobachtungsart etwas mißtrauiſch ſein müſſe, deren Güte einzig und allein von dem mehr oder weniger geübten und feinen Gefühle des Beobachters abhängt.

XXXII.

Verfahren, um die Intenſitäten der verſchiedenen Theile der Sonnenſcheibe zu vergleichen.**)

Wenn zwei Bergkryſtallprismen in dem Innern eines Fernrohrs drehbar angebracht ſind, ſo erblickt man zwei Bilder, wenn ihre beiden Hauptſchnitte zu einander parallel oder ſenkrecht ſind; in allen andern Lagen dagegen ſieht man vier. Geht man von einem Punkte aus, wo man nur zwei Bilder wahrnimmt, ſo wird beim Drehen des einen Prismas jedes Bild proportional mit dem Quadrate des Coſinus des Winkels, welcher die Größe der Drehung des Prismas mißt, geſchwächt. Bezeichnet alſo 1 die Intenſität des Lichtes eines jeden Bildes im Ausgangspunkte, ſo wird $\cos^2 x$ die Intenſität derſelben Bilder angeben, wenn man das eine der Prismen um x Grade dreht, während die In-

*) Nicht veröffentlichte Notiz. (Vergl. S. 188).

**) Nicht veröffentlichte Notiz, die ſich auf die vierte Abhandlung über Photometrie S. 191 bezieht.

tenſitäten der ſecundären Bilder durch $1 - \cos^2 x$ dargeſtellt werden. Man ſieht hieraus, daß die Lichtmenge, welche aus dem erſten Bilde in das zweite übergeht, ſtets bekannt iſt. Mit einem Prismenfernrohre kann man nun die Bilder völlig trennen, oder mit einander in Berührung bringen, oder auch mehr oder weniger übereinander fallen laſſen. Wenn man ſie über einander fallen läßt und dann die Größe der dem Prisma ertheilten Drehung berückſichtigt, ſo wird man mehrere intereſſante Verſuche auszuführen im Stande ſein. Geſetzt z. B. man dreht das Prisma bis zu dem Punkte, wo der Rand des zweiten Bildes, der ſich auf das erſte projicirt, merklich zu werden beginnt; es wird leicht ſein, daraus den Werth des Verhältniſſes herzuleiten, in welchem die Intenſitäten zweier Bilder ſtehen müſſen, damit das eine das andere vollſtändig zum Verſchwinden bringt. Wenn wir jetzt mit Bouguer annehmen, daß Rand und Mittelpunkt der Sonne nicht dieſelbe Intenſität beſitzen, ſo wird das zweite Bild während der Drehung des Prismas nur ſtückweiſe verſchwinden. Die Beobachtung dieſes ſucceſſiven Verſchwindens iſt vielleicht kein übles Mittel, um die Intenſitäten der verſchiedenen Theile der Sonnenſcheibe gleichzeitig zu vergleichen.

XXXIII.

Ueber die Vertheilung der Wärme auf der Oberfläche der Sonnenſcheibe.*)

In den Mittheilungen über Photometrie, die ich vor zwei Jahren der Akademie machte, beſchäftigte ich mich in den Sitzungen vom 29 April und 20. Mai 1850 mit der phyſiſchen Conſtitution der Sonne.**) Nachdem ich die Verſuche berichtet hatte, denen zufolge ich glaubte

*) Dieſe Notiz iſt von Arago in den 34. Band der Comptes rendus de l'Académie des sciences (Jahrgang 1852) S. 637 aufgenommen worden, unter dem Titel: Bemerkungen über eine Mittheilung, in welcher der Pater Secchi die Reſultate einiger Verſuche bekannt macht, die zum Zweck hatten, die relative Intenſität der Temperaturen in den verſchiedenen Punkten der Sonnenſcheibe zu meſſen.

**) Siehe oben S. 187 und 204.

ſchließen zu müſſen, daß die weißglühende Subſtanz der Sonne gasförmig iſt, führte ich im Detail die Beobachtungen an, die mir zu beweiſen ſchienen, daß die von Bouguer für die relativen Lichtintenſitäten des Mittelpunktes und des Randes dieſes Geſtirns gegebenen Zahlenwerthe nicht annehmbar ſeien, obwohl Laplace eben dieſe Zahlen als Grundlage gebraucht hat, um die abſorbirende Eigenſchaft der Sonnenatmoſphäre zu beſtimmen. Auf dieſe Weiſe veranlaßt von den innerſten Eigenſchaften der vom Rande und von dem Mittelpunkte der Sonne ausgehenden Lichtſtrahlen zu reden, citirte ich die von Forbes 1836 während einer ringförmigen Sonnenfinſterniß gemachten Beobachtungen, aus denen ſich ergab, daß in Bezug auf die Frauenhofer'ſchen dunklen Streifen jene beiden Arten von Strahlen genau auf dieſelbe Weiſe zuſammengeſetzt ſind; eine merkwürdige Folgerung, die auch, wenngleich weniger direct, aus einem ebenfalls in die Comptes rendus (Bd. 35, S. 548) aufgenommenen Verſuche Mathieſſen's hervorgeht.

Als ich dann zu der photographiſchen Wirkung der Strahlen überging, welche der Mittelpunkt und die nahe am Rande der Scheibe gelegenen Punkte ausſenden, geſtand ich offen, daß man ſich getäuſcht hätte, indem man aus der gleichmäßigen Färbung, welche die photographiſchen Bilder der Sonne darbieten, auf die Gleichheit jener Wirkung ſchloß, weil die gegen das Licht empfindliche Subſtanz der Wirkung der Sonne eine zu lange Zeit ausgeſetzt worden wäre. Ich hatte damals Veranlaſſung, die mit großem Scharfſinne von Foucault und Fizeau angeſtellten Beobachtungen zu berichten, in denen die Verſchiedenheit in der photographiſchen Wirkung der Strahlen des Mittelpunktes und Randes deutlich hervorgetreten war, weil dies Mal die empfindliche Platte den Sonnenſtrahlen nur während eines ſehr geringen Bruchtheils einer Secunde ausgeſetzt worden war. Ich vervollſtändigte dieſe Aufzählung, indem ich bemerklich machte, daß noch übrig wäre, die Wirkung der von verſchiedenen Punkten der Sonnenſcheibe ausgehenden Strahlen auf das Thermometer zu unterſuchen, und ich kündigte die Abſicht an, Verſuche anzuſtellen, um in dieſer Beziehung zu ſichern Reſultaten zu gelangen, da mir die Verſuche, die ich vor langer Zeit gemacht hatte, wo ich Thermometer an verſchiedene Punkte des von dem nicht achromatiſchen Objective des Gnomons unſeres

Meridianſales erzeugten Bildes ſtellte, begründeten Bedenken zu unterliegen ſchienen. Seitdem hatte ich dieſen Gegenſtand nicht aus den Augen verloren. Das Verfahren, das bei den neuen Unterſuchungen verfolgt werden ſollte, war ſehr einfach; man mußte mit einem guten achromatiſchen Objective ſich ein recht ſcharfes Bild von hinreichend großen Dimenſionen verſchaffen, um gleichzeitig an verſchiedenen Punkten dieſes Bildes die Kugeln vergleichbarer und ſehr empfindlicher, z. B. in hundertſtel Grade getheilter Thermometer zu ſtellen.

Sobald meine Aufmerkſamkeit ſich auf die außerordentlich feinen Thermometer richtete, die zum Gelingen des Verſuchs erforderlich waren, fiel mir natürlich der Name meines Freundes Walſerdin ein. Ich ſchlug dieſem ſcharfſinnigen Beobachter vor, die Verſuche auszuführen, an denen der Zuſtand meiner Augen mir nicht mehr directen Antheil zu nehmen geſtattete. Mein Anerbieten wurde mit Eifer angenommen. Ich wählte damals, um das Ziel zu erreichen, ein ausgezeichnetes achromatiſches Fernrohr von Lerebours aus, das 21 Centimeter Oeffnung und 6 Meter Focaldiſtanz hatte.

Es waren zur Anbringung der Thermometer in dem Bilde beſondere Anordnungen nöthig, mit denen ich mich einige Monate nach meiner Mittheilung an das Inſtitut beſchäftigte, wie man aus dem hier beigefügten Auszuge aus dem Protocolle der Sitzung des Längenbureau vom 11. September 1850 erſehen kann:

„Herr Arago unterhält das Bureau von Verſuchen, die er nächſtens über die erwärmenden Eigenſchaften des Mittelpunktes und des Randes der Sonne machen zu laſſen gedenkt, und ertheilt Herrn Lerebours einige Anweiſungen über die Conſtruction des nothwendigen Apparates.“

Wenige Tage reichten für Lerebours hin, um das, was ich von ihm gewünſcht hatte, zu beendigen, und der verlangte Apparat ward an dem großen Fuße befeſtigt, der in der für das Publicum offenen Hausflur des Obſervatoriums ſteht, wo ihn Jeder hat ſehen können.

Unglücklicherweiſe geſtattete ſein Geſundheitszuſtand Herrn Walſerdin nicht, die Verſuche zu beginnen. Selbſt heute würde er von einem ſchweren Unwohlſein, das ihn ans Bett feſſelt, getroffen, nicht im

Stande ſein, ſich den umſtändlichen und feinen Beobachtungen, die er auf meine Bitte gefälligſt übernommen hatte, zu unterziehen.

Unter dieſen Umſtänden ging mir von Rom die in das letzte Compte rendu aufgenommene Notiz zu, welche von dem Jeſuitenvater Secchi zu Ende des Monats März angeſtellte Beobachtungen über die relative Wirkung der vom Rande und der vom Mittelpunkte der Sonne ausgehenden Strahlen aufs Thermometer enthält. Mag der Pater Secchi von dem, was zu Paris beabſichtigt war, Kenntniß gehabt haben oder nicht, das Reſultat, das er erzielt hat, ich beeile mich es anzuerkennen, iſt ſein Eigenthum, und wird unter ſeinem Namen in die Annalen der Wiſſenſchaft eingetragen werden müſſen.

Durch das Vorſtehende wollte ich blos darthun, daß wenn der Geſundheitszuſtand Herrn Walferdin geſtatten wird, auf unſer Project zurückzukommen, er es thun kann, ohne fürchten zu müſſen, daß man ihn beſchuldige in ein von einem Andern eröffnetes Feld von Unterſuchungen eingedrungen zu ſein. Wenn ich eine Meinung über die ſehr intereſſanten Reſultate des Pater Secchi auszuſprechen hätte, würde ich ſagen, daß ſie gar ſehr der Beſtätigung bedürfen; daß ſie übrigens nicht ſo ſehr, als man glauben könnte, außer der Vorausſicht der Aſtronomen liegen. In der That hatte William Herſchel vermuthet, daß die Sonne aus zwei einander unähnlichen Halbkugeln beſtände; lehren uns nicht die veränderlichen Sterne oder wenn man will Sonnen, daß neben einem glänzenden Theile des Geſtirnes ein anderer Theil liegen kann, von dem kein Lichtſtrahl ausgeht?

Gewiſſe Beobachtungen haben übrigens ſehr merkliche ſchnelle Aenderungen in der Zahl der Lichtadern und des punktirten Ausſehens der Sonne gezeigt; was erlaubt, tägliche Aenderungen in der Temperatur, die von der Geſammtheit der von der Sonne uns zugeſandten Strahlen abhängt, ſowie in der Temperatur der beſondern Strahlen, welche von den verſchiedenen Punkten der Sonne ausgehen, zu vermuthen.

XXXIV.

Ueber eine der Wirkungen der Fernröhre auf die Sichtbarkeit der Sterne.*)

Das Auge ist nur mit einer begrenzten und beschränkten Empfindlichkeit begabt; besitzt das auf die Retina fallende Licht nicht Intensität genug, so bringt es auf dem Auge keine Empfindung hervor. Selbst in den dunkelsten Nächten entgehen zahlreiche Sterne unserer Wahrnehmung, weil sie nicht hell genug sind. Die Fernröhre haben, wenigstens bei den Fixsternen, die Wirkung, die Intensität des Bildes zu erhöhen. Das cylindrische Bündel paralleler Strahlen, das von einem Fixsterne kommend auf die Oberfläche der Objectivlinse fällt, und diese Kreisfläche zur Basis hat, ist nämlich beim Austritte aus der Ocularlinse beträchtlich verengt. Der Durchmesser des ersten Cylinders verhält sich zum Durchmesser des zweiten, wie die Brennweite des Objectivs zur Brennweite des Oculars, oder, wie der Durchmesser des Objectivs zu dem Durchmesser desjenigen Theiles vom Oculare, den das austretende Bündel einnimmt. Die Intensitäten des Lichtes in den beiden fraglichen Cylindern (den zwei Cylindern des einfallenden und des austretenden Lichtes) müssen sich unter einander wie ihre Grundflächen verhalten. Das austretende Licht wird also verdichteter und intensiver als das natürliche auf das Objectiv auffallende Licht sein, und zwar im Verhältniß der Oberfläche des Objectivs zu der kreisförmigen Grundfläche des austretenden Bündels. Wenn das Fernrohr vergrößert, so wird das austretende Bündel schmäler sein, als das cylindrische Bündel, welches auf das Objectiv fällt, und es ist also klar, daß die Pupille, welches auch ihre Oeffnung sei, mehr Strahlen mittelst des Fernrohres aufnehmen wird, als ohne dasselbe. Das Fernrohr vergrößert also stets die Intensität des Lichtes der Fixsterne.

*) Im December 1847 von Arago an Humboldt geschriebener und in dem 3. Bd. des Kosmos S. 119 aufgenommener Brief. Mehrere Stellen desselben sind zum Theil in dem 5. Buche der populären Astronomie wiederholt. — Dieser Brief erläutert einige der in dem zweiten Kapitel der fünften Abhandlung über Photometrie S. 207 ff. behandelte Punkte in Bezug auf die Phänomene des Sehens und der Sichtbarkeit.

Für die Wirkung der Fernröhre iſt derjenige Fall offenbar der günſtigſte, wo das Auge das ganze austretende Bündel aufnimmt, wo alſo dieſes Bündel einen geringeren Durchmeſſer als die Pupille hat. Dann trägt das ganze Licht, welches das Objectiv aufnimmt, zur Erzeugung des Bildes mittelſt des Fernrohrs bei. Sieht man dagegen mit bloßem Auge, ſo kommt nur ein Theil dieſes Lichtes zur Benutzung, nämlich der kleine Theil, den die Oberfläche der Pupille von dem natürlichen einfallenden Lichte abſchneidet. Die Intenſität des teleſkopiſchen Bildes eines Fixſternes verhält ſich daher zu der Intenſität des vom bloßen Auge wahrgenommenen Bildes, wie die Oberfläche des Objectivs zu der Größe der Pupille.

Das Vorhergehende gilt von der Sichtbarkeit eines einzigen Punktes, eines Fixſternes; wir wollen nun zu der Beobachtung eines Objectes von merklicher Winkelausdehnung, zur Beobachtung eines Planeten übergehen. In den günſtigſten Fällen, d. h., wenn die Pupille das ganze austretende Bündel aufnimmt, läßt ſich die Intenſität des Bildes von jedem einzelnen Punkte des Planeten nach der ſo eben angegebenen Proportion berechnen. Das geſammte Licht, welches zur Erzeugung des ganzen Bildes bei bloßem Auge beiträgt, wird ſich daher zu der geſammten Lichtmenge, welche das teleſkopiſche Bild des Planeten erzeugt, ebenfalls wie die Oberfläche der Pupille zu der Oberfläche des Objectivs verhalten. Die relativen Intenſitäten, nicht mehr bloßer iſolirter Punkte, ſondern der zwei Bilder eines Planeten, die auf der Retina beim Sehen mit freiem Auge und durch ein Fernrohr entſtehen, müſſen offenbar proportional mit der Größe der Oberfläche dieſer beiden Bilder abnehmen. Die linearen Dimenſionen der beiden Bilder verhalten ſich wie der Durchmeſſer des Objectivs zum Durchmeſſer des austretenden Bündels. Die Zahl, um wie viel mal die Oberfläche des vergrößerten Bildes die Oberfläche des mit freiem Auge geſehenen Bildes übertrifft, wird man alſo erhalten, wenn man das Quadrat des Durchmeſſers des Objectivs durch das Quadrat des Durchmeſſers des austretenden Bündels, oder die Oberfläche des Objectivs durch die Oberfläche der kreisförmigen Baſis des austretenden Bündels dividirt.

Wir haben bereits das Verhältniß der geſammten Lichtmengen,

welche die beiden Bilder eines Planeten erzeugen, erhalten, indem wir die Oberfläche des Objectivs durch die Größe der Pupille dividirten. Diese Zahl ist kleiner als der Quotient, zu dem man kommt, wenn man die Oberfläche des Objectivs durch den Querschnitt des austretenden Bündels dividirt. Daraus folgt in Bezug auf die Planeten, daß ein Fernrohr weniger an Lichtintensität gewinnen, als durch Vergrößerung der Oberfläche der Bilder auf der Netzhaut verlieren läßt; die Intensität dieser Bilder muß also fortwährend um so schwächer werden, je mehr die Vergrößerung des Fernrohrs oder Spiegelteleskops wächst.

Die Atmosphäre kann als ein Planet von unendlichen Dimensionen betrachtet werden. Der Theil derselben, welchen man im Fernrohre sieht, wird also ebenfalls dem zuvor angegebenen Gesetze der Schwächung unterliegen. Das Verhältniß der Intensitäten des Lichtes eines Planeten und des atmosphärischen Lichtfeldes, durch welches man ihn sieht, wird für das bloße Auge und in den Fernröhren von allen Vergrößerungen und Dimensionen dasselbe sein. In Bezug auf Intensität begünstigen die Fernröhre also die Sichtbarkeit der Planeten nicht.

So verhält es sich durchaus nicht mit den Fixsternen; die Intensität des Bildes eines Sternes ist stärker mit einem Fernrohre als mit bloßen Augen; dagegen ist das in beiden Fällen durch das atmosphärische Licht gleichförmig erleuchtete Gesichtsfeld heller mit bloßen Augen, als im Fernrohre. Ohne aus den Intensitätsbetrachtungen heraus zu gehen, gibt es also zwei Gründe, aus denen in einem Fernrohre das Bild des Sternes das der Atmosphäre merklich mehr als bei bloßen Augen übertrifft.

Dies Ueberwiegen muß allmälich mit der Zunahme der Vergrößerung wachsen. Denn abgesehen von einer gewissen Vergrößerung im Durchmesser des Fixsternes, die eine Folge verschiedener Beugungs- oder Interferenzwirkungen ist, abgesehen ferner von einer stärkern Reflexion des Lichtes auf den schiefern Oberflächen der Oculare mit sehr kurzen Brennweiten, ist die Intensität des Lichtes des Fixsternes constant, so lange die Oeffnung des Objectivs sich nicht ändert. Dagegen vermindert sich, wie wir gesehen haben, die Helligkeit des Feldes des Fernrohrs immerfort, je mehr die Vergrößerung wächst. Bleiben also alle andern Umstände gleich, so wird ein Stern um so sichtbarer, das

Vorwalten seines Lichtes über das Licht des Gesichtsfeldes des Fernrohrs, um so entschiedener, je stärker die angewandte Vergrößerung ist.

XXXV.

Ueber die Ursachen, welche die Sterne während des Tages verschwinden lassen.*)

Die Beobachtung zeigt, daß ein starkes Licht ein schwaches in seiner Nähe befindliches verschwinden läßt. Was kann der Grund davon sein? Es ist physiologisch möglich, daß die der Netzhaut durch das starke Licht mitgetheilte Erschütterung sich über die direct von dem starken Lichte getroffenen Punkte hinaus ausbreitet, und daß diese secundäre Erschütterung die von dem zweiten schwachen Lichte herrührende gewissermaßen absorbirt und neutralisirt. Jedoch ohne uns auf diese physiologischen Ursachen einzulassen, gibt es eine directe Ursache, die man für das Verschwinden des schwachen Lichtes anführen kann: die von dem starken Lichte herkommenden Strahlen bilden nämlich nicht bloß ein deutliches Bild auf der Netzhaut, sondern werden auch auf den verschiedenen Theilen dieses Organes wegen der Unvollkommenheiten in der Durchsichtigkeit der Hornhaut zerstreut. Die Strahlen des hellern Körpers a verhalten sich bei ihrem Durchgange durch die Hornhaut, als ob sie durch einen leicht mattgeschliffenen Körper hindurchgingen. Der regelmäßig gebrochene Theil dieser Strahlen bildet das Bild von a selbst, der andere zerstreute erhellt die gesammte Netzhaut. Auf diesen leuchtenden Grund wird also das Bild des benachbarten Gegenstandes b projicirt. Dieses letzte Bild muß also entweder verschwinden oder geschwächt werden. Bei Tage tragen zwei Ursachen zur Schwächung der Fixsterne bei: die eine dieser Ursachen ist das deutliche Bild des in der Richtung des Sternes liegenden Theils des Himmels (des zwischen dem Auge und dem Sterne befindlichen Theils der Luft), auf dem das Bild des Sterns sich darstellt; die andere Ursache liegt in dem diffusen Lichte, das von der Zerstreuung herrührt, welche die Mängel der Horn-

*) 1847 von Arago an Humboldt gesandte und in dem 3. Bde. des Kosmos S. 110 veröffentlichte Notiz.

haut in den von allen Punkten der sichtbaren Atmosphäre ausgehenden Strahlen veranlassen. In der Nacht wirken die zwischen dem Auge und dem Sterne, nach welchem man visirt, liegenden Schichten nicht; jeder Stern des Firmamentes bildet ein deutlicheres Bild, aber ein Theil seines Lichtes wird wegen mangelhafter Durchsichtigkeit der Hornhaut zerstreut. Dieselbe Schlußfolgerung findet auf einen zweiten, dritten . . ., tausendsten Stern Anwendung. Die Netzhaut wird also auf ihrer gesammten Fläche durch ein der Zahl dieser Sterne und ihrem Glanze proportionales diffuses Licht beleuchtet. Man begreift hiernach, daß diese Summe diffusen Lichtes das Bild des Sterns, auf welchen das Auge gerichtet ist, schwächt oder ganz verschwinden läßt.

XXXVI.

Ueber das undeutliche Sehen.*)

Die Haupturſachen des undeutlichen Sehens sind: die Aberration wegen der Sphäricität des Auges, die Diffraction an den Rändern der Pupille, die Fortpflanzung der Irritabilität aus einem gereizten Punkte der Netzhaut zu dem benachbarten. Undeutliches Sehen findet statt, wenn der Brennpunkt nicht genau auf die Netzhaut, sondern davor oder dahinter fällt. Die Sternschwänze sind die Wirkung des undeutlichen Sehens, insofern es von der Beschaffenheit der Krystalllinse abhängt. Nach einer sehr alten Abhandlung von Hassenfratz (1809) sind „die Strahlungen, (der Zahl nach 4 oder 8), welche die Fixsterne oder eine aus 25 Meter Entfernung gesehene Kerze darbieten, die Brennlinien der Krystalllinse, welche durch das Durchschneiden der gebrochenen Strahlen gebildet werden.“ Diese Brennlinien bewegen sich in dem Maaße, als wir den Kopf neigen. Die Eigenschaft des Fernrohrs, das Bild zu begrenzen, macht, daß es in einen kleinen Raum das Licht concentrirt, das sonst einen viel größern eingenommen haben würde. Dies ist richtig für die Fixsterne und für die Scheiben der Planeten. Das Licht der Fixsterne, welche keine wahren Scheiben

*) In den 3. Band S. 202 des Kosmos von Humboldt als Auszug aus Manuscripten Arago's von 1834 und 1847 aufgenommenene Notiz.

zeigen, behält dieſelbe Intenſität, wie ſtark auch die Vergrößerung ſein möge. Das atmoſphäriſche Luftfeld, von dem ſich der Fixſtern im Fernrohre abhebt, wird durch die Vergrößerung, welche die Molecüle der von dem Geſichtsfelde des Fernrohres umfaßten Luft von einander entfernt, ſchwärzer. Die Planeten mit wahrem Durchmeſſer werden durch die Wirkung der Verbreiterung ebenfalls blaſſer. Wenn das Focalbild ſcharf iſt, wenn die von einem Punkte des Objects ausgegangenen Strahlen in einem Punkte des Bildes vereinigt werden, ſo liefert das Ocular genügende Reſultate. Wenn dagegen die von einem Punkte ausgegangenen Strahlen ſich im Brennpunkte nicht in einem Punkte vereinigen, wenn ſie einen kleinen Kreis bilden, ſo greifen die Bilder zweier benachbarter Punkte des Objects nothwendig über einander; ihre Strahlen vermiſchen ſich. Dieſe Vermiſchung vermag die Ocularlinſe nicht zu beſeitigen; ſie leiſtet den ausſchließlichen Dienſt, zu vergrößern, und vergrößert Alles, was ſich im Bilde findet, die Fehler ebenſo wie das Uebrige. Da die Fixſterne keine merklichen Winkeldurchmeſſer haben, ſo rühren diejenigen, welche ſie immer behalten, zum größten Theil von einem Mangel an Vollkommenheit der Inſtrumente (von der den beiden Flächen der Objectivlinſe ertheilten weniger regelmäßigen Krümmung) und von einigen Mängeln und Aberrationen in unſerm Auge her. Je kleiner ein Stern erſcheint, gleiche Durchmeſſer des Objectivs, gleiche angewandte Vergrößerungen und gleichen Glanz des beobachteten Sternes vorausgeſetzt, um ſo vollkommner iſt das Fernrohr. Das beſte Mittel, um zu beurtheilen, ob die Sterne ſehr klein ſind, ob Punkte im Brennpunkte wieder als bloße Punkte ſich darſtellen, beſteht offenbar darin, das Fernrohr nach einander äußerſt nahe ſtehenden Fixſternen zu richten, und zu ſehen, ob in den bekannten Doppelſternen die Bilder ſich vermiſchen, ob ſie über einander greifen, oder ob man ſie recht deutlich getrennt wahrnimmt.

XXXVII.

Ueber die Erſcheinungen des Halbſehens.

[In den Philosophical Transactions für 1824 hat Wollaſton eine Abhandlung über die partielle Durchkreuzung der optiſchen Nerven ver-

öffentlicht, in welcher sich drei Beispiele von Halbsehen finden. Die beiden ersten Zufälle betrafen Wollaston selbst, der sie in folgender Weise beschreibt:

I. „Es sind jetzt mehr als 20 Jahre her, daß ich von diesem eigenthümlichen Zustande des Gesichtsorganes, worüber ich reden will, infolge einer heftigen Anstrengung von zwei bis drei Stunden befallen wurde. Ich bemerkte plötzlich, daß ich von einem Manne, der sich auf meinem Wege befand, nur die halbe Gestalt sehen konnte; dasselbe fand bei jedem andern Gegenstande, den ich betrachtete, statt. Als ich versuchte den Namen Johnson über einer Thür zu lesen, sah ich nur die letzte Silbe son; der Anfang des Wortes war meinen Blicken gänzlich verborgen. Der Verlust des Sehens fand in diesem besondern Falle auf der linken Seite statt, mochte ich mit dem einen oder mit dem andern Auge sehen. Diese Blindheit war indeß nicht ganz vollständig; die Objecte erschienen aber mit einem intensiven Schatten bedeckt und ohne gut bestimmte Umrisse. Die Krankheit dauerte kurze Zeit; nach einer Viertelstunde war sie völlig verschwunden. Die Empfindung kehrte allmälich zurück, indem sie vom Mittelpunkte ausging und schräg nach links aufwärts vorschritt."

II. „Vor ungefähr $1^1/_4$ Jahren entwickelte sich bei mir eine ähnliche Affection, ohne daß es mir möglich gewesen wäre, die Ursache davon anzugeben, oder sie auf eine vorhergegangene oder nachfolgende Unpäßlichkeit zu beziehen. Ich bemerkte sie ebenfalls beim Betrachten der Gestalt einer mir begegnenden Person, deren linkes Auge ich nicht wahrnahm. Meine Blindheit war in diesem Falle die entgegengesetzte der frühern, weil die Gegenstände, auf die ich mein Gesicht richtete, jetzt auf der rechten Seite (statt früher auf der linken) unsichtbar wurden.

„Das neue punctum caecum hatte in beiden Augen eine ähnliche Lage; es stand ungefähr 3° vom Mittelpunkte ab; denn wenn die Objecte sich in einer Entfernung von 4 bis 5 Meter befanden, so lag der nicht sichtbare Punkt ungefähr 0,25 Meter von demjenigen ab, auf welchen ich das Gesicht richtete.

„Nachdem die Affection ohne merkliche Aenderung 20 Minuten gedauert hatte, verlor sie sich plötzlich durch die Aufregung, in die ich

durch die Nachricht über die glückliche Ankunft eines Freundes, der sich in eine sehr gefahrvolle Unternehmung eingelassen hatte, versetzt wurde."

Der dritte Fall von Halbsehen, den Wollaston beschreibt, wurde bei einem seiner Freunde beobachtet. „Nachdem mein Freund, sagt er, mehrere Tage lang an einem heftigen Schmerze im Kopfe in der Nähe der linken Schläfe und hinter dem Auge gelitten hatte, fand sich sein Gesicht merklich geschwächt: andere Symptome deuteten auf einen schwachen Druck auf das Gehirn.

„Erst nach drei oder vier Wochen sah ich ihn, und fand, ohne von einigen andern Affectionen, deren Erwähnung hier unnütz sein würde, zu reden, daß er ein ähnliches Gesichtsleiden hatte, als dasjenige, von dem ich selbst befallen worden war. Dies Leiden war aber ausgedehnter und leider auch länger dauernd. Zu der Zeit, wo die Krankheit sich entwickelte, und ebenso jetzt, lagen die nicht sichtbaren Stellen links vom Mittelpunkte des Sehens. Das Gesichtsfeld ist noch groß genug, um meinem Freunde das Lesen vollkommen zu gestatten; er sieht, was er schreibt, die Feder, die er benutzt, aber nicht die Hand, mit der er sie führt. Dieses Leiden ist, soviel sich beurtheilen läßt, in beiden Augen dasselbe, und besteht in der Unempfindlichkeit der Netzhaut auf der linken Seite jedes Auges. Es ist sehr wahrscheinlich, daß zur Zeit, wo die Schmerzen auf der linken Seite des Kopfes eintraten, eine Ergießung statt fand, die einen bleibenden Druck auf den linken Sehhügel zurückgelassen hat. Diese partielle Blindheit hat ohne merkliche Besserung zu lange angehalten, als daß es nicht zweifelhaft wird, ob mein Freund jemals die Fähigkeit, ihm zur Rechten gelegene Gegenstände wahrzunehmen, wieder erlangen kann."

Auf die Uebersetzung von Wollaston's Abhandlung im 27. Bd. der Annales de chimie et de physique hat Arago folgende Bemerkung folgen lassen:]

Die von Wollaston beschriebene Affection ist ziemlich gemein. Ich kenne vier Personen, welche daran leiden, und ich selbst habe seit einem Monate drei Anfälle erlitten. Das erste und zweite Mal sah ich die rechts von der Sehare gelegenen Gegenstände nicht; das dritte Mal dagegen, am 27. September 1824 sah ich sie allein. Hatte ich z. B. meine Blicke auf den rechten Grundstrich des m im Worte baromètre,

das mit großen Buchstaben über ein Instrument geschrieben war, gerichtet, so sah ich diesen Strich nebst den folgenden Buchstaben ètre vollkommen, erkannte aber weder den ersten Grundstrich des Buchstaben m, noch die Silben baro. Die Erscheinung zeigte sich in gleichem Grade, welches Auge ich auch zur Beobachtung wählen mochte. Ein Kopfschmerz, der seinen Sitz rechts über dem Auge hatte, trat nach ungefähr 20 Minuten, nachdem dieses Halbsehen aufgehört hatte, ein.

Ich muß hier anführen, daß es mir selbst dann, wenn das Verschwinden der einen Hälfte der Objecte in der Nähe der Sehare vollständig war, bisweilen geschienen hat, als ob ich schwache Spuren von Punkten, die in Bezug auf mein Auge noch schiefer lagen als diejenigen, welche auf die angegebene Weise meinen Blicken entgingen, wahrzunehmen vermöchte.

Da eine Hälfte der Netzhaut momentan ihrer Empfindlichkeit beraubt sein kann, so muß man erwarten, daß bei gewissen Affectionen des Gehirns jenes Organ, ohne unter seinen verschiedenen Theilen so auffallende Unterschiede zu zeigen, doch in seiner ganzen Ausdehnung nicht gleich geeignet sein wird, schwache Lichteindrücke wahrzunehmen.

Die Beobachtungen haben mir seit langer Zeit gezeigt, daß dies nicht eine bloße Hypothese ist. Ich finde z. B. in meinen Tagebüchern unter dem 13. Februar 1822 Folgendes:

„Der Mond (des Saturn) war äußerst schwach in unserm Fernrohre von vier Zoll (108^{mm}) Oeffnung; ich bemerkte ihn kaum und nur während sehr kurzer Augenblicke, wenn ich meinen Blick mit angestrengtester Aufmerksamkeit auf den Ort, wo er war, richtete; wenn ich den Blick aber auf dem vom Monde entferntesten Rande des Ringes festhielt, so sah ich ihn sogleich sehr deutlich.

„Ein anderer Mond war nur mit dem Fernrohre von $7^1/_2$ Zoll (203^{mm}) Oeffnung zu bemerken; aber selbst dann mußte ich, um ihn zu entdecken, meine Sehare nicht auf den Mond selbst, sondern auch auf den Rand des Ringes richten.“

Diese Beobachtungen, in denen es mir nur gelang, äußerst schwache Gegenstände zu entdecken, indem ich sie nicht direct betrachtete, scheinen mir auf unbestreitbare Weise darzuthun, daß damals nicht

alle Theile der Netzhaut in demſelben Grade empfindlich waren. Vielleicht wird dieſe Bemerkung verdienen, die Aufmerkſamkeit der Aſtronomen auf ſich zu ziehen.

XXXVIII.

Ueber die Art von Augenaffection, die mit dem Namen Hemeralopie bezeichnet wird.

[Der Bericht über die Sitzung der Akademie der Wiſſenſchaften vom 23. Auguſt 1846 enthält folgende Nachricht:

„Der Augenarzt der Wohlthätigkeitsanſtalt des erſten Arrondiſſement, Herr Doctor Magne hat eine Notiz über eine beſondere Alteration des Geſichtsorganes eingeſandt.“

„Die Perſon, welche dieſe Mittheilung betrifft, ſagt Herr Magne, iſt ein Beamter der Tabaksverwaltung in dem Departement Lot-et-Garonne, M. C.; er verliert beim Scheiden des Tages das Geſicht, und erhält es erſt am andern Tage wieder. Dieſe traurige Dispoſition, die ſehr kurze Zeit nach der Geburt erkannt wurde, ſcheint jetzt einige Fortſchritte zu machen; und dies iſt der Grund, welcher M. C. beſtimmt hat, nach Paris zu kommen, und die Hülfe der Kunſt in Anſpruch zu nehmen.“

„Bei Gelegenheit dieſer Mitheilung wieſen die Herren Rour und Velpeau darauf hin, daß es ſeit vielen Jahrhunderten bekannt iſt, daß gewiſſe Individuen nur bei Tage ſehen, und das Geſicht verlieren, ſobald die Nacht eintritt.“

Am Schluſſe dieſer Nachricht hat Arago die folgenden Bemerkungen beigefügt:]

Der beſtändige Secretär hebt hervor, daß wenn die Fälle von Hemeralopie, die man anführt, ſich auf Perſonen beziehen, die eines ſehr ſtarken Lichtes bedürfen, um gut zu ſehen, dieſe Fälle in den Annalen der Wiſſenſchaften einen Platz zu erhalten und mit einem beſondern Namen bezeichnet zu werden nicht verdienen; daß aber, wenn man von Perſonen hat reden hören, die bei gleicher Lichtintenſität mit natürlichem Lichte gut ſähen, dagegen bei künſtlichem Lichte gewiſſermaßen blind wären, dieſe Erſcheinung bei dem jetzigen Zuſtande unſerer

Kenntniſſe über die Optik und über die Art, wie das Sehen erfolgt, völlig unerklärlich ſein würde.

XXXIX.

Von dem Einfluſſe der Bewegung auf die Sichtbarkeit der Gegenſtände.*)

Als ich auf der Teraſſe des Obſervatoriums ſpazieren ging, ſah ich auf dem Boden zwei Schatten meines Körpers, von denen der eine durch das direct von der Sonne kommende Licht, und der andere durch die von den Fenſterſcheiben reflectirten Lichtſtrahlen gebildet wurde. Dieſer letzte Schatten variirte an Intenſität auf eine ſehr merkliche Weiſe, wenn ich meinen Ort änderte, weil die Menge des von den Fenſterſcheiben reflectirten Lichtes ſelbſt große Aenderungen erlitt. Ich habe nun, wenn der Schatten ſehr ſchwach iſt, ſtets bemerkt, daß die Bewegung ſeine Sichtbarkeit eigenthümlich erleichtert, ſo daß ſelbſt unter Umſtänden, wo er im Zuſtande der Ruhe ganz unmerklich iſt, eine etwas plötzliche Bewegung des dunklen Körpers hinreicht, ihn ſehr deutlich wahrzunehmen.

Dieſer Verſuch muß während der Nacht mit Schatten wiederholt werden, die durch zwei in ſehr ungleichen Abſtänden von einem undurchſichtigen Körper und einem Schirme befindliche Kerzen entſtehen.

Man wird ferner die Beziehung unterſuchen müſſen, in welcher dieſer Verſuch mit der Beobachtung der Sterne bei hellem Tage ſtehen kann. Könnte der große Vortheil, den die ſtarken Vergrößerungen bei der Beobachtung kleiner oder ſehr ſchwacher Objecte darbieten, nicht hauptſächlich von dem Umſtande abhängen, daß dieſe ſtarken Vergrößerungen die ſcheinbare Bewegung vergrößern?

---

*) Notiz aus den von Arago über ſeine Beobachtungen geführten Tagebücher von 1815. — Vergl. die fünfte Abhandlung über Photometrie S. 208.

XL.

Vom Einfluſſe des Phänomens der Interferenzen auf das Sehen.*)

Die Farbenänderung iſt bei dem Phänomen des Funkelns der Sterne ſehr merkwürdig; dieſe Aenderung iſt viel häufiger als die gewöhnliche Beobachtung anzeigt. Bildet man nämlich durch raſches Hin- und Herbewegen des Fernrohrs ein gradliniges oder kreisförmiges Bild, ſo erſcheinen alle Punkte dieſer Linie oder dieſes Kreiſes in verſchiedenen Farben. Die Reſultante aus dem Uebereinanderlegen dieſer Bilder ſieht man, wenn man das Fernrohr unbewegt läßt. Die ſich im Brennpunkte einer Linſe vereinigenden Strahlen ſchwingen in gleichem oder entgegengeſetztem Sinne, verſtärken oder vernichten ſich, je nachdem die von ihnen durchdrungenen Schichten eine verſchiedene Brechung beſitzen. Sämmtliche rothen Strahlen können ſich allein aufheben, wenn die von rechts und links und die von oben und unten kommenden Strahlen durch ungleich brechende Mittel hindurchgegangen ſind. Ich habe geſagt allein, weil der Unterſchied in der Brechung, welcher der Vernichtung des rothen Strahles entſpricht, nicht derſelbe iſt, als derjenige, welcher die Vernichtung des grünen Strahles herbeiführt. Wenn jetzt die rothen Strahlen zerſtört ſind, ſo wird der Reſt weiß weniger roth, d. h. grün ſein; iſt dagegen das Grün durch Interferenz aufgehoben, ſo wird das Bild weiß weniger grün, d. h. roth. Will man erklären, warum die Planeten mit großem Durchmeſſer nicht oder nur wenig funkeln, ſo muß man ſich erinnern, daß die Scheibe als ein Aggregat von Fixſternen oder von kleinen Punkten, die jeder für ſich funkeln, betrachtet werden kann; aber die verſchiedenfarbigen Bilder, welche jeder dieſer Punkte geſondert geben würde, müßten über einander greifen und Weiß erzeugen. Stellt man ein Diaphragma oder einen von einem Loche durchbohrten Kork auf das Objectiv eines Fernrohrs, ſo erhalten die Fixſterne eine von einer Reihe heller Ringe umgebene Scheibe. Schiebt

*) Im Jahre 1847 geſchriebene und in den 3. Bd. von Humboldt's Kosmos S. 122 aufgenommene Notiz.

man das Ocular hinein, so wächst die Scheibe des Sternes am Durchmesser, und es bildet sich in ihrem Centrum ein dunkles Loch; schiebt man noch weiter hinein, so tritt an die Stelle des schwarzen Punktes ein weißer. Ein neues Einschieben erzeugt ein schwarzes Centrum u. s. f. Nehmen wir jetzt das Fernrohr, wenn der Mittelpunkt des Bildes schwarz ist, und visiren nach einem Sterne, der nicht funkelt: der Mittelpunkt wird schwarz bleiben, wie er zuvor war. Richtet man dagegen das Fernrohr auf einen Stern, der funkelt, so wird man den Mittelpunkt des Bildes abwechselnd hell und dunkel sehen. In der Lage, wo der Mittelpunkt des Bildes von einem hellen Punkte eingenommen ist, wird man diesen Punkt successive verschwinden und wieder erscheinen sehen. Dieses Verschwinden und Wiedererscheinen des centralen Punktes ist der directe Beweis der veränderlichen Interferenz der Strahlen. Um das Fehlen des Lichtes im Centrum dieser erweiterten Bilder recht zu begreifen, muß man sich erinnern, daß die durch das Objectiv regelmäßig gebrochenen Strahlen sich nur im Brennpunkte vereinigen, und folglich mit einander zur Interferenz kommen können; daß folglich die erweiterten Bilder, welche diese Strahlen erzeugen können, stets voll (ohne Loch) bleiben sollten. Wenn bei einer gewissen Lage des Oculars ein Loch im Centrum des Bildes entsteht, so rührt dies davon her, daß die regelmäßig gebrochenen Strahlen mit den an den Rändern des kreisförmigen Diaphragmas gebeugten Strahlen interferiren. Das Phänomen ist nicht constant, weil die Strahlen, die in einem Augenblicke interferiren, dies einen Augenblick später nicht mehr thun, wenn sie durch atmosphärische Schichten, deren Brechungsvermögen sich geändert hat, hindurchgegangen sind. Man findet in diesem Versuche den offenbaren Beweis für die Rolle, welche bei dem Phänomene des Funkelns die ungleiche Refrangibilität der atmosphärischen Schichten, durch welche die Strahlen eines sehr schmalen Bündels hindurchgegangen sind, spielt.

Aus diesen Betrachtungen folgt, daß die Erklärung des Funkelns nur auf die Phänomene der Lichtinterferenzen bezogen werden kann. Nachdem die Strahlen der Fixsterne eine Atmosphäre durchdrungen haben, in welcher sich ungleich warme, ungleich dichte, ungleich feuchte Schichten finden, vereinigen sie sich im Brennpunkte einer Linse, um

dort in Intenſität und Farbe unaufhörlich wechſelnde Bilder zu erzeugen, d. h. ſolche Bilder, wie ſie das Funkeln zeigt. Es exiſtirt außerhalb des Brennpunktes der Fernröhre ebenfalls Funkeln. Die von Galilei, Scaliger, Keppler, Descartes, Hooke, Huyghens, Newton und John Michell vorgeſchlagenen Erklärungen, die ich in einer dem Inſtitut 1840*) vorgelegten Abhandlung einer nähern Prüfung unterworfen habe, ſind nicht annehmbar. Thomas Young, dem wir die erſten Geſetze der Interferenzen verdanken, hat das Phänomen des Funkelns für unerklärbar gehalten. Die Unrichtigkeit der ältern Erklärung durch Dämpfe, welche in der Luft fliegen und ihren Ort ändern, iſt bereits durch den Umſtand bewieſen, daß wir das Funkeln mit bloßen Augen ſehen, was eine Verrückung von 1 Minute vorausſetzen würde. Die Undulationen der Sonnenränder betragen aber nur 4″ bis 5″.

XLI.

Ueber die Benutzung der Säulen aus Glasplatten zur Erforſchung der Geſetze der Polariſation.

[In der ſechſten Abhandlung über Photometrie**) erwähnt Arago, daß er Säulen aus Glasplatten benutzt habe, um die Winkel zu beſtimmen, welche einerſeits größer und andererſeits kleiner ſind, als der Winkel, für den bei der Reflexion die vollſtändige Polariſation eintritt, und welche die Eigenſchaft beſitzen, daß die unter ihnen reflectirten Strahlen in gleichen Verhältniſſen polariſirtes Licht beigemengt erhalten. Die zu dieſem Zwecke ausgeführten Verſuche ſind nicht bekannt gemacht worden; blos einige der dabei erhaltenen Zahlen finden ſich in dem Aufſatze über Polariſation angeführt.***)

Die von Arago erhaltenen Reſultate ſind in einem Tagebuche aufgezeichnet, deſſen weſentlicher Inhalt hier mitgetheilt werden ſoll.

Die Verſuche wurden ſo angeſtellt, daß man entweder das Licht der Wolken oder das Licht einer Lampe mit gutem Luftzuge auf einen

*) S. den 7. Band der ſämmtl. Werke S. 3.

**) S. oben S. 221.

***) S. Bd. VII. Aufſatz über Polariſation.

horizontalen Spiegel fallen ließ, dann mit einem Polariſkope, deſſen Neigung gegen den Horizont durch einen getheilten verticalen Kreis angegeben wurde, nach dieſem Spiegel viſirte und endlich das Lichtbündel durch Reflexion auf einer Glasplatte oder einer Säule aus angemeſſen gegen die Axe des Polariſkops geneigten Glasplatten ſoweit depolariſirte, daß jede Spur von Färbung in den beiden Bildern des Polariſkops verſchwand.

Die Verſuche ſind auf Waſſer, Dinte, Queckſilber, auf einen Stahl-, Platin-, Teleſkopſpiegel, auf Spießglanzglas, auf einen Arago von A. v. Humboldt übergebenen Spiegel, auf einen künſtlichen Horizont von Lenoir, auf einen Glasſpiegel, auf einen belegten Glasſpiegel und zwei gleichſchenklige Prismen ausgedehnt worden.

Die folgenden Tabellen enthalten die Zuſammenſtellung aller Beobachtungen, geordnet nach abnehmenden Winkeln des Polariſkops mit der reflectirenden Oberfläche.

Beobachtungen mit Waſſer.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
74° 27′	39° 54′	Wolken.	29. Mai u. 1. Juni 1814.
72 16	27 42	„	1. Juni.
68 2	19 48	„	„
65 40	14 42	„	29. Mai.
64 58	13 20	„	1. Juni u. 2. Juni.
13 20	10 45	Lampe.	1. Juni.
11 43	12 15	Wolken.	„
10 48	11 30	„	29. Mai u. 2. Juni.
9 49	16 20	„	29. Mai.
9 49	16 20	Lampe.	1. Juni.
7 0	25 24	Wolken.	29. Mai.
7 0	25 2	Lampe.	1. Juni.
3 30	39 7	Wolken.	1. u. 2. Juni

Beobachtungen mit Dinte.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
72° 3′	28° 54′	Wolken.	25. November 1814.
70 14	24 15	,,	,,
67 38	18 22	,,	,,
7 19	18 38	,,	,,
5 47	23 45	,,	,,
4 52	27 0	,,	,,

Beobachtungen mit Queckſilber.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.		Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
	Gewöhnliches Glas.	Etwas grünliches Glas.		
31° 4′	—	33° 30′	Wolken	27. Decbr. 1814.
29 15	33° 16′	—	Sehr bedeckter Himmel	23. Decbr. 1814.
26 6	29 52	—	,,	,,
21 17	25 —	—	,,	,,
18 54	—	23 30	Wolken	25. Decbr. 1814.
18 10	22 30	—	Sehr bedeckter Himmel	23. Decbr. 1814.
15 2	—	19 46	Wolken	25. Decbr. 1814.
12 52	—	18 20	,,	,,
12 36	19 40	—	Sehr bedeckter Himmel	23. Decbr. 1814.
10 48	—	19 83	Wolken	25. Decbr. 1814.
9 57	20 10	—	Sehr bedeckter Himmel	23. Decbr. 1814.
7 12	23 42	—	,,	,,
6 7	25 40	—	,,	,,
4 49	29 24	—	,,	,,

Beobachtungen mit einem Stahlſpiegel (dieſelbe Glasplatte wie bei dem Queckſilber am 25. December.)

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
39° 54′	25° 0′	Wolken.	27. December 1814.
33 39	19 45	,,	,,
27 20	12 45	,,	,,

22° 25′	11° 7′	Wolken.	27. December 1814.
5 9	17 23	,,	,,
4 6	23 0	,,	,,
3 23	27 57	,,	,,

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
55° 56′	52° 10′	Wolken.	7. Juni 1814.
36 0	32 45	,,	,,

Andere Beobachtungsreihen mit demselben Stahlspiegel.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
25° 39′	28° 53′	Wolken.	30. December 1814.
24 13	31 24 *)	,,	,,
23 10	27 7	,,	,,
19 43	25 57	,,	,,
18 24	28 22 *)	,,	,,
17 51	26 17	,,	,,
16 28	26 49	,,	,,
15 5	28 6 *)	,,	,,
12 54	26 34	,,	,,
12 22	27 22 *)	,,	,,
10 30	27 51	,,	,,
8 45	30 15	,,	,,

Beobachtungen mit einem Platinspiegel (dieselbe neutralisirende Glasplatte wie bei dem Stahlspiegel am 27. December.)

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutralisirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
31° 4′	20° 15′	Wolken.	27. December 1814.
22 12	14 24	,,	,,
18 35	14 27	,,	,,

*) Arago hat einen Theil des Spiegels mit einem schwarzen Zeuge bedeckt, um blos durch den Mittelpunkt der Platten zu sehen.

14° 51′	13° 52′	Wolken.	27. December 1814.
9 35	13 45	,,	,,
7 13	19 10	,,	,,

Andere Reihe von Beobachtungen mit demſelben Platinſpiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
61° 39′	63° 40′	Wolken.	6. Juni. 1814.
55 56	58 7	,,	7. Juni.
49 3	53 30	,,	,,
44 6	48 30	,,	,,
41 24	47 0	,,	,,
36 0	42 0	,,	,,
29 12	36 52	,,	,,
24 29	32 52	,,	6. Juni.
22 19	30 50	,,	,,
18 54	31 37	,,	7. Juni.
13 30	31 52	,,	,,
4 39	49 0	,,	,,

Beobachtungen mit einem Teleſkopſpiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus zwei Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
69° 16′	65° 10′	Wolken.	5. Juni 1814.
42 16	35 54	,,	,,
35 58	31 0	,,	,,
31 28	25 0	,,	,,
28 46	23 53	,,	,,
26 58	18 30	,,	,,
20 13	15 30	,,	,,
16 37	16 7	,,	,,
14 59	19 45	,,	,,

Andere Reihe von Beobachtungen mit demſelben Teleſkopſpiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
36° 54′	38° 7′	Wolken.	5. Juni 1814.
30 9	30 52	,,	,,
27 0	29 24	,,	,,

24° 18′	30° 10′	Wolken.	5. Juni 1814.
18 54	23 30	„	„
16 39	24 20	„	„
13 57	26 0	„	„
10 48	31 18*)	„	„
8 43	35 0	„	„

Beobachtungen mit dem Spießglanzglaſe.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
70° 56′	55° 30′	Wolken.	16. Februar 1815.
67 52	50 27	„	„
60 45	38 22	„	„
58 15	35 20	„	„

Andere Reihe von Beobachtungen mit demſelben Spießglanzglaſe.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus vier Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
72° 0′	61° 36′	Wolken.	3. November 1815.
62 22	48 0	„	„
55 51	41 0	„	„
49 30	29 36	„	„
43 50	18 3	„	„

Erſte Beobachtungsreihe auf einem von A. v. Humboldt erhaltenen Spiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
67° 33′	22° 24′	Wolken.	4. Juni 1814.
9 57	13 0	„	„
7 36	21 37	„	3. „
5 34	30 10	„	4. „

*) 7h 30m, Himmel bedeckt, Licht ſchwach.

Zweite Beobachtungsreihe auf demſelben Spiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
70° 12′	31° 22′	Wolken.	19. Juni 1814.
69 18	29 12	,,	,,
68 24	27 12	,,	,,
67 30	24 37	,,	,,
66 36	23 12	,,	,,
65 42	20 19	,,	,,
64 48	18 45	,,	,,
9 54	10 22	,,	,,
9 0	13 52	,,	,,
8 6	15 30	,,	,,
7 12	19 37	,,	,,
6 18	22 45	,,	,,
5 24	26 37	,,	,,
4 30	29 12	,,	,,

Dritte Beobachtungsreihe auf demſelben Spiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus zwei Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
68° 24′	39° 0′	Wolken.	5. Juni 1814.
67 30	37 10*)	,,	21. Juni.
66 36	35 0	,,	,,
63 54	28 36	,,	5. Juni.
63 0	27 57	,,	21. Juni.
62 6	26 12	,,	,,
60 18	19 48	,,	5. Juni.
10 48	20 40	,,	21. Juni.
9 54	22 58	,,	,,
9 0	25 28	,,	,,
9 0	25 18	,,	5. Juni.

*) Als Arago, während das Polariſkop mit der reflectirenden Fläche einen Winkel von 67° 30′ bildete, zwiſchen die beiden Platten Alkohol brachte, fand er für den Winkel, wo das Licht neutral wurde, nur ungefähr 27°.

8° 6′	30° 9′	Wolken.	21. Juni 1814.
7 12	32 30*)	„	22. Juni.
7 12	32 22	„	21. Juni.
6 30	34 7	„	5. Juni.
6 18	36 57	„	21. Juni.
5 24	37 52	„	„
4 30	41 24	„	5. Juni.

Vierte Beobachtungsreihe mit demſelben Spiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
72°54′	52° 6′	Wolken.	6. Juni 1814.
70 56	49 45	„	16. Februar 1815.
68 24	44 24	„	6. Juni 1814.
68 24	43 9	„	7. Juni.
67 52	44 30	„	16. Februar 1815.
66 36	39 37	„	7. Juni 1814.
66 30	41 15	„	„
65 42	38 48	„	6. Juni.
64 48	37 0	„	7. Juni.
63 54	35 0	„	6. Juni.
63 0	32 42	„	7. Juni.
61 12	29 0	„	6. Juni.
61 12	27 0	„	7. Juni.
60 45	31 48	„	16. Februar 1815.
58 15	26 30	„	„
14 24	22 0	„	6. Juni 1814.
13 30	25 10	„	7. Juni.
12 36	20 54	„	„
11 42	30 0	„	„
11 42	29 30	„	6. Juni.
10 48	31 57	„	7. Juni.
9 54	34 1	„	„
9 0	37 0	„	6. Juni.
9 0	36 26	„	7. Juni.

*) Als Arago, während das Polariſkop mit der reflectirenden Ebene einen Winkel von 7° 12′ bildete, Saſſafrasöl zwiſchen die beiden Platten brachte, betrug der Winkel, bei welchem das Licht neutral wurde, nur noch 19° 15′.

8° 6′	39° 43′	Wolken.	7. Juni 1814.
7 34	41 30	„	6. Juni.
4 52	50 20	„	7. Juni.

Fünfte Beobachtungsreihe mit demselben Spiegel.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
76° 57′	67° 36′	Wolken.	21. Februar 1815.
74 8	62 12	„	„
68 24	52 38	„	20. Februar.
62 34	43 48	„	„
57 12	35 34	„	„

Erste Beobachtungsreihe mit einem Lenoir'schen künstlichen Horizonte.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutralisirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
70° 1′	27° 40′	Sehr bedeckter Himmel.	10. Septbr. 1814.
68 13	23 56	„	„
66 27	20 7	„	„
64 37	16 37	„	„
62 49	12 23	„	„
11 33	11 31	Lampe.	9. Septbr.
11 27	12 43	Sehr bedeckter Himmel.	10. „
10 40	14 12	Lampe.	9. „
10 10	16 36	Wolken.	8. „
9 23	18 20	Lampe.	9. „
9 16	17 31	Wolken.	8. „
9 16	16 55	Sehr bedeckter Himmel.	10. „
8 22	19 33	Wolken.	8. „
8 12	20 8	Sehr bedeckter Himmel.	10. „
7 45	24 37	Lampe.	9. „
7 28	23 12	Wolken.	8. „
7 28	23 30	Sehr bedeckter Himmel.	10. „
6 34	28 46	Bewölkt.	8. „
6 18	29 45	Lampe.	9. „
6 11	28 30	Sehr bedeckter Himmel.	10. „
5 53	32 30	„	„

Zweite Beobachtungsreihe auf demselben künstlichen Horizonte.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus zwei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
77° 48′	60° 10′	Völlig bedeckter Himmel.	29. October 1814.
74 42	52 37	,,	,,
65 42	34 48	,,	,,
58 30	21 15	,,	,,
13 35	11 36	,,	,,
11 24	17 30	,,	,,
10 18	21 40	,,	,,
8 45	26 3	,,	,,
8 35	29 0	Lampe.	28. ,,
6 41	32 36	,,	,,
5 24	39 0	,,	,,
5 22	36 48	Völlig bedeckter Himmel.	29. ,,
4 31	40 42	Lampe.	28. ,,
4 21	41 0	Völlig bedeckter Himmel.	29. ,,
3 39	50 42	Lampe.	28. ,,
2 26	57 24	Wolken.	,,
1 21	65 30	,,	,,

Dritte Beobachtungsreihe auf demselben künstlichen Horizonte.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
80° 44′	70° 52′	Wolken.	11. Februar 1815.
79 35	69 30	,,	,,
75 27	60 50	,,	,,
71 6	50 18	,,	,,
66 17	42 16	,,	,,
61 39	33 22	,,	,,
60 45	31 55	,,	,,

Vierte Beobachtungsreihe auf demſelben künſtlichen Horizonte.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus ſechs Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
16° 52′	34° 10′	Wolken.	10. November 1815.
15 10	38 0	„	11. October.
14 13	38 42	„	10. November.
13 45	41 0	„	11. October.
11 59	43 45	„	„
11 43	44 36	„	10. November.
9 15	47 18	„	„
5 20	54 34	„	„
3 52	59 30	„	„
2 42	63 48	„	„
2 4	67 0	„	„

Beobachtungen mit einem Glasſpiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
80° 5′	55° 13′	Wolken.	28. Mai 1814.
78 36	52 46	„	„
75 0	43 10	„	„
70 50	30 32	„	„
65 59	21 0	„	„
64 12	16 55	„	„
8 13	16 7	„	„
6 42	23 7	„	„
5 24	28 37	„	„

Beobachtungen mit einem auf ſeinen beiden Flächen reflectirenden Glasſpiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
67° 30′	25° 42′	Wolken.	25. Juni 1814.
66 36	23 21	„	„
9 54	18 4	„	„
9 0	22 7	„	„

8° 6′	25° 4′	Wolken.	25. Juni 1814.
7 12	29 4	,,	,,
6 18	31 47	,,	,,

Beobachtungen mit einem auf ſeinen beiden Flächen reflectirenden Glasſpiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutraliſirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
12° 36′	19° 34′	Wolken.	7. October 1814.
9 54	27 7	,,	,,
8 33	31 30	,,	,,

Beobachtungen mit zwei Glasſpiegeln, von denen einer auf ſeinen beiden, der andere aber nur auf einer Fläche reflectirt.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus vier Richer'ſchen Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule		Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
	für den auf ſeinen beiden Flächen reflectirenden Spiegel.	für den auf einer Fläche reflectirenden Spiegel.		
75° 18′	64° 54′	64° 47′	Wolken.	5. Nov. 1815.
72 0	57 18	56 37	,,	,,
69 44	52 0	51 39	,,	,,
67 25	48 36	48 32	,,	3. ,,
56 52	31 34	30 8	,,	,,
53 44	25 3	22 4	,,	5. ,,

Andere Beobachtungsreihe mit einem auf ſeinen beiden Flächen reflectirenden Spiegel.

Neigungen des Polariſkops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus vier Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
76° 57′	67° 48′	Wolken.	21. Februar 1815.
74 8	62 48	,,	,,
68 24	53 33	,,	20. ,,
62 34	44 7	,,	,,
57 12	36 34	,,	,,

17° 34′	27° 12′	Wolken.	21. Februar 1815.
13 59	36 43	„	26. „
12 43	37 20	„	27. „
10 59	44 0	„	26. „

Beobachtungen mit einem belegten Glasspiegel.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutralisirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
48° 36′	55° 15′	Wolken.	22. October 1814.
27 0	39 50	„	„
24 18	37 18	„	„
16 12	35 0	„	„
9 54	34 53	„	7. „
9 54	34 42	„	16. „
8 33	36 48	„	7. „

Beobachtungen mit einem gleichschenkligen auf der zweiten Fläche reflectirenden Glasprisma (stumpfer Winkel = 161°, spitzer Winkel = 9° 30′).

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der neutralisirenden Glasplatte.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
15° 23′	20° 6′	Wolken.	9. Februar 1815.

Neigungen des Polariskops gegen die reflektirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
18° 50′	42° 0′	Wolken.	11. Februar 1815.
14 32	47 54	„	„
12 49	48 30	„	„
10 25	53 30	„	„
9 16	56 12	„	„

Beobachtungen mit einem Prisma von 141°.

Neigungen des Polariskops gegen die reflectirende Oberfläche.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
21° 26′	26° 42′	Wolken.	12. Februar 1815.
19 47	28 52	„	„

18° 24′	31° 48′	Wolken.	12. Februar 1815.
16 43	34 37	„	„
15 30	44 42	„	„
13 28	47 54	„	„

Alle in den vorstehenden Tabellen gegebenen Bestimmungen sind Mittelwerthe aus 3 bis 10 Beobachtungen. Bei einem und demselben Versuche weichen die Winkel der neutralisirenden Säule höchstens 1 bis 2° von einander ab.

Anstatt die Lage des Polariskops zu ändern und die reflectirende Oberfläche unverrückt zu lassen, hat Arago auch einige Versuche ausgeführt, bei denen er das Polariskop unverrückt ließ, und dagegen den Spiegel neigte, welcher das polarisirte Licht, das bei seinem Durchgange durch die Säule aus Glasplatten neutralisirt werden sollte, zum Polariskop sandte.

Diese neuen Beobachtungen haben folgende Resultate gegeben:

Beobachtungen mit einem Glasspiegel.

Winkel des Polariskops mit der reflectirenden Fläche.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
14° 30′	36° 48′	Wolken.	28. März 1815.
13 59	36 43	„	26. Februar.
12 43	37 20	„	27. „
12 30	40 30	„	27. März.
12 30	40 12	„	28. „
11 26	43 26	„	„
10 59	44 0	„	26. Februar.
9 48	43 58	„	27. „
9 30	47 48	„	27. März.
9 17	48 48	„	28. „
7 48	49 25	„	27. Februar.

Beobachtungen mit einer von Biot erhaltenen Glasplatte.

Winkel des Polariskops mit der reflectirenden Fläche.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
15° 8′	33° 10′	Wolken.	4. Mai 1815.
11 53	40 6	„	„
10 8	44 30	„	„

Die vorstehend berichteten Versuche zeigen nicht nur, daß die bei gleichen Abständen diesseits und jenseits des Winkels der vollständigen Polarisation reflectirten Strahlen in gleichen Verhältnissen polarisirtes Licht enthalten, sondern haben Arago auch gedient, den Beweis zu führen, daß die Menge polarisirten Lichtes, welche von einer durchsichtigen Fläche durchgelassen worden, genau der Menge rechtwinklig darauf polarisirten Lichtes, die sich in dem in derselben Ebene reflectirten Bündel findet, gleich ist. In dem Tagebuche nämlich, welches die vorstehenden Beobachtungen enthält, hat Arago auch Versuche über das von einer Glasplatte unter verschiedenen Neigungen durchgelassene polarisirte Licht aufgezeichnet. Die Intensität der Polarisation wurde wieder durch eine gegen die Are des Polariskops angemessen geneigte Säule aus Glasplatten gemessen; das Polariskop behielt seine Stellung unverändert, während die Platte, welche das hindurchgegangene Licht durchließ, successive verschiedene Neigungen erhielt.

Diese Beobachtungen sind reducirt folgende:

Beobachtungen mit einer Glasplatte.

Winkel des Polariskops mit der durchsichtigen Fläche.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
26° 11′	51° 40′	Wolken.	26. Februar 1815.
23 11	49 27	"	"
20 11	46 48	"	"
17 11	45 12	"	"
14 11	42 48	"	"
11 11	40 48	"	"

Beobachtungen mit einem Glasspiegel.

Winkel des Polariskops mit der durchsichtigen Fläche.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
24° 8′	47° 36′	Wolken.	27. Februar 1815.
20 8	44 57	"	"
16 8	42 56	"	"
13 8	40 39	"	"
10 8	38 20	"	"

Andere Beobachtungsreihe mit einem Glasſpiegel.

Winkel des Polariſkops mit der durchſichtigen Fläche.	Neigungen der aus vier Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
15° 13′	42° 54′	Wolken.	27. März 1815.
14 25	42 7	„	28. „
12 13	41 12	„	27. „
11 25	40 6	„	28. „
10 33	40 36	„	„
9 13	39 42	„	27. „
8 25	38 48	„	28. „

Beobachtungen mit einer von Biot erhaltenen Glasplatte.

Winkel des Polariſkops mit der durchſichtigen Fläche.	Neigungen der aus vier Platten beſtehenden neutraliſirenden Säule.	Benutzte Lichtquelle.	Tag der Beobachtungen.
17° 54′	46° 0′	Wolken.	4. Mai 1815.
13 54	43 6	„	„
10 48	40 41	„	„
9 54	40 24	„	„
8 33	40 39	„	„
5 29	37 48	„	„

Vergleicht man dieſe Beobachtungen mit den oben über das reflectirte Licht angeführten, ſo ſieht man, daß man für dieſelben Winkel des Polariſkops mit einer das Licht durchlaſſenden oder reflectirenden Ebene auch dieſelben Winkel für die Neutraliſation mittelſt einer aus derſelben Anzahl Platten beſtehenden Säule findet.]

XLII.

Beſtimmung des Winkels, unter welchem das Licht von verſchiedenen Subſtanzen vollſtändig polariſirt wird.

Neigung des Prismenfernrohrs gegen die beobachtete Fläche.	Waſſer.
38° 30′	Das Verſchwinden des zweiten Bildes iſt nicht vollſtändig.
39 30	Dies Bild noch merklicher als zuvor.
35 30	Man iſt dem vollſtändigen Verſchwinden des zweiten Bildes ſehr nahe.

Neigung des Prismenfernrohrs gegen die beobachtete Fläche.	Wasser.
36°	Das Verschwinden des zweiten Bildes scheint mir vollständig.
37	Das Verschwinden ist sehr vollständig.
38 30′	Das zweite Bild scheint mir wieder merklich zu werden.
39 45	Kein Verschwinden.
37	Verschwinden.

Aus diesen Beobachtungen dürfte zu folgen scheinen, daß das Wasser bei einer Neigung von ungefähr 37° polarisirt.

Sassafrasöl.

37° 45′	Noch weit vom Verschwinden entfernt.
28 30	Weit vom Verschwinden entfernt.
32 30	Verschwinden. (Bringe ich unter dieser Neigung Wasser an die Stelle des Oels, so ist das Bild vom Verschwinden weit entfernt).
34	Verschwinden.
36 15	Das zweite Bild verschwindet nicht mehr.
37 30	Ziemlich weit vom Verschwinden entfernt.

Aus diesen Beobachtungen dürfte zu folgen scheinen, daß das Sassafrasöl bei einer Neigung von ungefähr 33° polarisirt.

Glasspiegel.

37° 0′	Weit entfernt vom Verschwinden.
36 30	Ebenso.
35	Verschwindet nicht völlig.
33 15	Sehr nahe.
31 30	Das zweite Bild verschwindet nicht mehr.
33	Ziemlich nahe dem Verschwinden.
33 30	Nahe.
34	Sehr nahe oder völliges Verschwinden.
34 45	Sehr nahe.
35 30	Das zweite Bild beginnt merklich zu werden.
37 15	Weit entfernt.
36	Verschwindet nicht.

Neigung des Prismenfernrohrs gegen die beobachtete Fläche.	Glasspiegel.
34° 30′	Verschwinden.
33 30	Ebenso.
38 15	Kein Verschwinden.
34	Verschwinden.
32 45	Das zweite Bild beginnt merklich zu werden.

Man sieht hieraus, daß die vollständige Polarisation des Lichtes bei einer wenig von 34° abweichenden Neigung eintreten muß.

XLIII.

Prüfung des Diamanten durch die Polarisation.

[Der Bericht über die Sitzung der pariser Akademie der Wissenschaften vom 2. Januar 1843 enthält die folgende von Elie de Beaumont vorgelegte Notiz:

Notiz über das Vorkommen der Diamanten in Brasilien, von Lomonosoff. — Die Gesteine, wo die Diamanten in den Itacolumitmassen vorkommen, finden sich auf dem linken Ufer des Corrego dos Rios auf der Serra de Grammagoa, die 43 portugisische Meilen nördlich von der Stadt Tijuco oder Diamantina liegt. Man hat daselbst seit mehreren Jahren die Diamanten vortheilhaft gewonnen, indem man die Steinmassen zersprengte, die Bruchstücke mittelst Hämmer zerkleinerte, und diesen Sand mit Hülfe der batea auswusch. Gegenwärtig sind diese Arbeiten eingestellt worden, weil der Rest der Steinmassen, worin die Diamanten vorkommen, mehr als eine Schwierigkeit der Ausbeutung entgegenzustellen begonnnen hat, und weil diese Diamanten anderswo mit größerer Leichtigkeit erhalten werden.“

Dieser Notiz sind verschiedene Handstücke beigefügt, welche Lomonosoff der Prüfung der Akademie unterwirft, nämlich:

1. u. 2. Vorkommen von Diamanten auf der Serra de Grammagoa, 43 portugisische Meilen von Tijuco;

3. u. 4. Diamanten in der Canga, von Riberao das Datas, 6 Meilen von Tijuco.

5. Antonio Pereira (der Compagnie von Gango-Socco gehörig), Gold in einem eisenschüssigen Conglomerate.
6. Gongo-Socco (Gold in der Jacutinga), Eisenglanz.
7. Santa-Anna d'Itabira de matto-grosso, (Gold in der Jacutinga), Eisenglanz.
8. Candongo (Gold mit krystallinischen Facetten in der zerreiblichen Jacutinga).

Handstücke, welche das Vorkommen des Goldes an den verschiedenen Oertlichkeiten der Provinz Minas Geraes nachweisen.

9. Brucutu (goldführende Jacutinga).
10. Goldstaub von Minas Novas (Gold in Körnchen).
11. Goldkörnchen, einige krystallinische Flächen zeigend, von dem Flusse Jacotintonha (Minas Geraes, Grenze des Diamantendistricts).

Nach dieser Mittheilung machte Arago die Bemerkung, daß man, wenn irgend Zweifel über die Beschaffenheit dieser Krystalle existiren sollten, ungeachtet ihrer Kleinheit und ohne daß man nöthig hätte, sie aus ihrer Gangart herauszunehmen, mittelst eines Polarisationsversuches würde entscheiden können, ob sie wirklich Diamanten seien.

Der Bericht über die folgende Sitzung vom 16. Januar erläutert in folgenden Worten die Resultate der angestellten Versuche:

„Auf Arago's Vorschlag hatte die Akademie einer Commission den Auftrag ertheilt, auf optischem Wege zu prüfen, ob die kleinen in quarzigen Sandstein eingewachsenen Mineralien, welche Herr Lomonosoff aus Brasilien mitgebracht hat, wirkliche Diamanten sind. Die Commission hat heute über ihre Versuche Bericht erstattet.

„Nachdem eines dieser Mineralien aus seiner Gangmasse herausgelöst war, konnte man daran mit der Erlaubniß des Herrn Lomonosoff eine kleine Fläche anschleifen und poliren, und dann mittelst der regelmäßigen Reflexion seine Eigenschaften studiren. Man hat sich auf diese Weise überzeugt, daß es das Licht nicht vollständig polarisirt. (Wie den Physikern bekannt, verhält sich der Diamant ebenso.) Der Winkel des Maximums der Polarisation fand sich bei dem kleinen Minerale genau so groß, wie bei einem zur Vergleichung genommenen indischen Diamanten. Zufolge dieser beiden Eigenschaften unterliegt es also keinem Zweifel, daß das abgelöste Mineral ein wahrer Diamant ist."

„In Betreff der beiden andern in ihrer Gangart verbliebenen

Kryſtalle war die Prüfung nicht ſo entſcheidend. Die Kleinheit der Flächen und ihre ſehr unvollkommene Politur zwangen die Beobachter in dieſem Falle mit bloßen Reflexen zu operiren. Die Folgerung daraus war indeß dieſelbe.

„Die Beobachtungen wurden von den Herren A. v. Humboldt, Elie de Beaumont, Babinet, Diard und Arago gemacht.“

Die Akademie beſchloß, daß eine ſchwärzliche Subſtanz noch härter als der Diamant, welchen Diard in Borneo erworben hatte, denſelben optiſchen Prüfungen unterworfen werden ſollte.

Der Bericht vom 30. Januar enthält endlich über dieſen Gegenſtand die folgende Notiz:

„Die Akademie beſchloß neulich, ein ſchwarzes und ſehr hartes Mineral, welches von Herrn Diard in Borneo gekauft worden iſt, optiſchen Prüfungen zu unterwerfen. Der Verſuch konnte nicht ausgeführt werden. Nach unausgeſetzter 24ſtündiger Arbeit war es einem der geſchickteſten pariſer Steinſchneider nicht gelungen, eine einzige der Spitzen zu entfernen, womit die Oberfläche des Minerals bedeckt iſt. Herr Arago berichtet ſogar, daß die Scheibe des Steinſchneiders während dieſer Arbeit ſehr gelitten hat.

„Nach ſeiner Prüfung des Stückes glaubt Herr Dumas, daß das Mineral ein ſogenannter Naturdiamant (diamant de nature) ſei, welchen Namen man im Handel denjenigen Diamanten beilegt, welche ſich weder poliren noch ſpalten laſſen und die man zur Bereitung des Diamantſtaubes aufhebt.“]

XLIV.

Peltier's Aufſatz über die atmoſphäriſche Cyanometrie und Polarimetrie.*)

Peltier legte am 30. Juli 1845 der Akademie der Wiſſenſchaften eine in Brüſſel gedruckte Abhandlung vor, mit dem Titel: Ueber die atmoſphäriſche Cyanometrie und Polarimetrie oder

*) In dem XXI. Bd. der Comptes rendus der pariſer Akademie der Wiſſenſchaften S. 332 abgedruckte Notiz.

Aufſatz über die an Arago's Cyano-Polariſkop angebrachten Erweiterungen und Veränderungen, um es bei der Beobachtung aller Punkte des Himmels zu einem Cyano-Polarimeter zu machen. Arago drückte ſogleich ſein Erſtaunen darüber aus, daß man ihm die Genugthuung raube, die Zuſammenſetzung ſeiner optiſch-meteorologiſchen Inſtrumente und die Art ihrer Benutzung bekannt zu machen. Peltier fand dieſe Empfindlichkeit unbegründet. „Ein Inſtrument, ſchrieb er an Arago, das zur Ausſtellung der Producte der franzöſiſchen Induſtrie hingegeben iſt, das ſich in zwanzig phyſikaliſchen Cabineten findet, ... ſollte noch nicht Gemeingut ſein, wie das Hygrometer, Eudiometer u. ſ. w.! Es iſt dies wahrlich eine Behauptung, die mich in Erſtaunen ſetzt und meine Urtheilskraft verwirrt.“

Als Arago heute (am 4. Auguſt 1845) ſehr ungern auf dieſen Streit zurückkam, erklärte er, daß es ihm, da er die Säle der Ausſtellung im Jahre 1844 nicht ein einziges Mal beſucht habe, vollkommen unbekannt geweſen ſei, daß der Künſtler, dem er die Ausführung ſeines Polarimeters und ſeines Cyanometers anvertraut, dieſe beiden Inſtrumente den Augen des Publikums ausgeſetzt hatte; daß, wenn die Aufſtellung eines Apparates in den Sälen der Champs-Elyſées dem Erfinder einige ſeiner Rechte nehmen konnte (was zuzugeben übrigens Arago weit entfernt war), doch die Veröffentlichung der Theile von Peltier's Schrift, welche ſich auf die Theorie des Polarimeters, des Cyanometers, und auf die nöthigen Vorſichtsmaaßregeln beim Gebrauch dieſer beiden Inſtrumente beziehen, in keinem Falle unter irgend einem Titel ſich rechtfertigen ließe.

Peltier hat in dieſer Beziehung Unterweiſungen nur aus dem Munde ſolcher Perſonen empfangen können, mit denen Arago über ſeine ältern Verſuche geſprochen hatte. Soleil ſelbſt hat ihm wenig nützlich ſein können; denn da Arago ſich vorbehalten hatte, dieſem achtbaren Künſtler für den Gebrauch der Beobachter eine geſchriebene Inſtruction zu geben, glaubte er mit ihm nicht in mündliche detaillirte Erläuterungen ſich einlaſſen zu müſſen. Was iſt auch geſchehen? Arago hat gezeigt, daß Peltier's Brochure von unglaublichen Fehlern in Bezug auf Thatſachen und Theorie wimmelt. Arago fand ſich in

die peinliche Nothwendigkeit verſetzt, mündlich vor ſeinen Collegen Ideen Peltier's zurückzuweiſen, die man ihm würde haben zuſchreiben können. Es würde Arago widerſtreben, ohne abſolute Nothwendigkeit hier auf die Einzelheiten einzugehen. Der Secretär der Akademie hat etwas Dringenderes zu thun, nämlich an die Stelle von Peltier's Schrift eine genaue Beſchreibung des Polarimeters und Cyanometers zu ſetzen, und gleichzeitig die wahren optiſchen Prinpien zu erläutern, auf welche dieſe beiden Inſtrumente ſich gründen.*)

XLV.

Polariſation der Atmoſphäre.**)

[Arago's Beobachtungsregiſter enthalten mehrere Verſuchsreihen theils um den neutralen Punkt zu beſtimmen, welchen die Atmoſphäre in Bezug auf die Stellung der Sonne zu den verſchiedenen Stunden des Tages darbietet, theils um mittelſt des Polarimeters die Intenſität der Polariſation an den verſchiedenen Punkten des Himmels zu meſſen.

Alle Reſultate dieſer Verſuche ſind hier aufgenommen; die von Arago geſchriebenen Bemerkungen werden beibehalten; die Beobachtungen nach den Angaben der Regiſter reducirt.]

Aufſuchung des Winkels, unter welchem die Atmoſphäre das Licht polariſirt (22. November 1812).

Ich ſtelle den Nullpunkt des Nonius auf den Nullpunkt des Horizontalkreiſes am Theodolit und richte das Fernrohr nach der untergehenden Sonne. Darauf beſtimme ich entweder mittelſt der beiden Felder des kleinen Prismenfernrohrs, oder mittelſt der Farben, welche dieſe beiden Felder annehmen, wenn man eine Bergkryſtallplatte einſchaltet, oder endlich indem ich einen dünnen undurchſichtigen und

*) S. oben S. 220 bis 230.

**) Die Entdeckung der Polariſation der Atmoſphäre wurde 1811 von Arago gemacht. — Vergl. hierüber die Abhandlung über die farbige Polariſation S. 32 und 34. — Vergl. auch in der 7. Abhandlung über Photometrie das von der Beſtimmung der Höhe der Wolken handelnde Kapitel S. 231 bis 236. — Vergl. endlich im 7. Bde. den Aufſatz über die Polariſation.

schwarzen Körper mittelst eines doppeltbrechenden Prismas betrachte, den Punkt der Atmosphäre, wo das Licht am vollständigsten polarisirt ist.

Bei einem ersten Versuche finde ich, daß dieser Punkt von der Sonne entfernt ist . . . . . 99°
Eine zweite Prüfung gibt mir 99
Eine dritte 98
Eine vierte 104
Eine fünfte 98
Eine sechste 93

In 118° war man ziemlich weit von dem Punkte der vollständigen Polarisation entfernt.
In 65 war man ziemlich weit auf der andern Seite.
In 74 hat man, wie mir scheint, den Punkt merklich überschritten.
In 63 ist man sehr weit entfernt.
In 70 ist der Punkt stark überschritten.
In 73 ist der Punkt ebenfalls merklich überschritten.

Nimmt man an, daß 99° in der That der Winkel sei, um welchen der Punkt der Atmosphäre, wo das Licht vollständig polarisirt ist, von der Sonne absteht, so wird man finden, daß der Winkel, welchen die Strahlen mit der Oberfläche jedes Luftmolecüls im Augenblicke der Reflexion bilden, ungefähr 50° beträgt.

Beobachtungen am 9. Juni 1814.

Um $6^h\,30^m$ mittlerer Zeit ist das Licht nicht polarisirt in 17° 6′; es ist durch Brechung polarisirt in 5° 24′, und durch Reflexion in 22° 30′.

Beobachtungszeiten.	Winkel des Polariskops mit dem Horizonte in dem der Sonne diametral gegenüberliegenden Azimute.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Bemerkungen.
$6^h\,35^m$	30° 36′	54° 0′	—
6 37	30 36	55 0	—
6 38	35 6	51 0	—
6 39	44 6	40 0	—
6 $40^1/_2$	53 6	35 0	—
6 47	71 6	27 30	—
6 50	57 36	32 0	—

Um 7^h gibt es kein polarisirtes Licht in $20^0\,42'$; es gibt solches durch Reflexion polarisirt in $26^0\,6'$, und durch Brechung in $14^0\,51'$.

Um $7^h\,30^m$ Neutralisation in $26^0\,22'$; das Licht ist durch Reflexion polarisirt in $29^0\,42'$, und durch Brechung in $18^0\,54'$.

Beobachtungszeiten.	Winkel des Polariskops mit dem Horizonte in dem der Sonne diametral gegenüberliegenden Azimute.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Bemerkungen.
$7^h\,35^m\,1/2$	$35^0\,6'$	$63^0\,0'$	—
7 38	44 6	50 30	—
7 41	53 6	40 30	—
8 $6\,1/2$	44 6	48 30	—

Beobachtungen am 11. Juni 1814.

Beobachtungszeiten.	Winkel des Polariskops mit dem Horizonte in dem der Sonne diametral gegenüberliegenden Azimute.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Bemerkungen.
$2^h\,45^m$	$37^0\,36'$	$27^0\,30'$	—
2 48	23 17	56 30	Weiße Wolke.
2 $50\,1/2$	19 45	37 30	—
2 $52\,1/2$	12 7	53 0	Weiße Wolke.
2 56	67 0	38 0	—
3 2	69 58	37 30	—
3 5	75 1	41 0	—
3 $6\,1/2$	69 17	37 30	—
3 $8\,1/2$	45 0	27 0	—
3 $10\,1/2$	43 31	69 30	Weiße Wolke.
3 $13\,1/2$	43 31	27 30	—
3 $16\,1/2$	27 0	32 0	—
3 18	18 12	40 0	—
3 20	10 0	44 0	—
3 22	31 30	33 0	—
3 $23\,1/2$	48 30	28 0	—
3 28	59 54	66 0	Weiße Wolke.
3 33	59 54	29 0	—

Beobachtungen am 14. Juni 1814.

Beobachtungszeiten.	Winkel des Polariskops mit dem Horizonte in dem der Sonne diametral gegenüberliegenden Azimute.	Neigungen der aus drei Platten bestehenden neutralisirenden Säule.	Bemerkungen
$2^h\,22^m$	$69^0\,18'$	$42^0\,0'$	—
2 24	60 18	35 0	—
2 27	50 24	29 30	—
2 29	45 0	27 30	—
2 31	22 30	31 0	—
2 33	16 12	35 30	—
2 34	14 51	58 0	Weiße Wolke.
2 38	11 42	41 0	—
2 40	26 6	71 30	Weiße Wolke.
2 43	36 54	29 0	—
2 44	72 0	41 0	—
2 48	63 0	35 30	—
2 49	54 0	32, 0	—
2 51	45 54	67 0	Weiße Wolke.
2 53	62 6	75 0	Wolke.
2 55	37 48	67 30	"
2 57	66 58	73 30	"
2 58	12 36	66 30	Weiße Wolke.

Beobachtungen am 18. April 1815.

Ich suchte den Punkt der Atmosphäre, wo in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute die Polarisation Null ist.

Um $5^h\,56^m$ finde ich, daß das Fernrohr in $12^0\,36'$ zu tief, in $21^0\,36'$ zu hoch ist; der neutrale Punkt liegt in $17^0\,49'$.

Um 6^h ist $23^0\,24'$ zu hoch; die Neutralisation findet in $18^0\,54'$ statt.

Um $6^h\,3^m$ ist $14^0\,51'$ zu niedrig; der neutrale Punkt liegt in $19^0\,48'$.

Um $6^h\,12'$ ist $14^0\,24'$ zu tief, $25^0\,44'$ zu hoch; der neutrale Punkt liegt in $22^0\,19'$.

Um $6^h\,16^m$ ist $16^0\,12'$ zu tief, $25^0\,12'$ zu hoch; der Punkt liegt in $20^0\,42'$.

Um $6^h\,30^m$ liegt der neutrale Punkt in $23^0\,13'$.

Um $6^h\,40^m$ in $25^0\,12'$.

Um $6^h\,45^m$ in $24^0\,40'$.

Um $6^h 58^m$ ist $15^0 45'$ zu tief, $29^0 15'$ zu hoch; die Neutralisation findet statt in $22^0 3'$. — Das Licht war bei dieser letzten Beobachtung sehr schwach.

Um $6^h 27^m$ neutralisiren, als das Fernrohr auf $1^0 48'$ steht, vier Platten unter dem Winkel von 67^0 die Farben vollständig.

Um $6^h 50^m$ neutralisiren, als das Fernrohr auf $4^0 3'$ steht, vier Platten unter dem Winkel von 67^0 die Färbungen vollständig.

Beobachtungen am 11. Mai 1815.

Beobachtungszeiten.	Winkel des Polariskops mit dem Horizonte.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden Säule.	Bemerkungen.
$3^h 36^m$	$47^0 42'$	$28^0 30'$	Sehr reiner Himmel.
3 39	21 36	43 0	—
3 42	54 54	39 0	Weiße Wolke.
3 45	54 54	35 0	Die Wolke ist durchsichtiger.
3 $46^1/_2$	54 54	45 0	Neue weiße Wolke.
3 50	54 54	40 0	Weiße Dünste.
3 $50^1/_2$	54 54	46 0	Dickere Dünste.

Das Maximum polarisirten Lichtes mußte um $3^h 36^m$ sehr nahe auf $47^0 42'$ fallen.

Anfangs war die Atmosphäre sehr rein; später wurden durch den Wind weißliche Dünste herbeigeführt.

Beobachtungen am 27. Mai 1815.

Beobachtungszeiten.	Winkel des Polariskops mit dem Horizonte.	Neigungen der aus vier Platten bestehenden Säule.	Bemerkungen.
$1^h 38^m$	$55^0 10'$	$36^0 30'$	Neutral.
1 41	49 11	32 0	„
1 44	13 21	36 0	„
1 46	22 15	32 30	„
1 48	25 49	29 30	„
1 $51^1/_2$	48 40	32 0	„
1 56	41 19	28 0	„
1 $58^1/_2$	27 23	30 0	„
2 2	43 2	28 0	„

$2^h\ 5^1/_2{}^m$	29° 26′	30° 0′	Neutral.
2 8	48 3		
2 11	62 49	37 30	„
2 $12^1/_2$	13 48		
2 18	65 53	40 0	„
2 20	10 16		
2 23	19 50	35 30	„
2 25	60 58		
2 32	59 13	35 0	„
2 35	23 9		
2 38	9 11	42 0	„
2 40	6 21	45 0	„
2 $41^1/_2$	3 18	47 30	„
2 44	0 54	49 0	„
4 28	29 4	42 0	„

Beobachtungen am 25. Auguſt.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus ſechs Platten beſtehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariſkops in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
$1^h\ 17^m$	30° 0′		Durchgelaſſene Farben in allen Höhen.
1 18	33		„
1 20		45° 22′	Neutral.
1 21		30 36	Durchgelaſſene Farben.
1 22		36 16	Neutral.
1 23	36	55 19	Durchgelaſſene Farben.
1 22		48 9	Neutral.
1 23		35 17	Durchgelaſſene Farben.
1 26		39 20	Neutral.
1 27		56 53	Durchgelaſſene Farben.
1 35	40	26 6	„
1 37		63 32	„
1 43	45	17 38	„
1 44		71 11	„
1 49	47	73 43	Neutral.
1 50		13 41	„
1 53	46	16 39	„
1 54		73 10	„

$2^h\ 7^m$	45^0	$20^0\ 20'$	Neutral.
2 5		74 6	„
2 13	40	67 21	„
2 16		30 1	„
2 19	38	36 17	„
2 22		66 19	„
2 28	37	39 31	„
2 32		59 54	„
4 11	49 30′	30 12	„
4 16	45	38 2	„
4 18	55	21 13	„
4 21	60	17 35	„
4 23	70	6 36	„

Von hier an waren die eingeschalteten Platten auf den einfallenden Strahlen senkrecht.

Um $4^h\ 29^m$ muß der neutrale Punkt sehr nahe am Horizonte liegen; nach einer neuen Prüfung glaube ich, daß er unterhalb desselben liegt.

Beobachtungszeiten.	Neigungen des Polariskops in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
$5^h\ 9^m$	$6^0\ 1'$	Neutral.
6 20	16 45	„
6 22	9 0	Deutliche Farben durch Brechung.
6 27	19 5	Neutral.
6 29	27 4	Reflectirte Farben.
6 30	13 41	Durchgelassene Farben.
6 34	20 46	Neutral.
6 38	22 46	„
6 40	16 17	Durchgelassene Farben.
6 41	28 8	Reflectirte Farben.
6 45	25 0	Neutral.
6 50	25 17	„
6 52	29 42	Reflectirte Farben.
6 55	24 29	Neutral.
6 56	19 32	Durchgelassene Farben.
7 0	24 23	Neutral.

Der Himmel war während dieser Beobachtungsreihe vollkommen

rein, oder beſſer geſagt völlig frei von Wolken; ich ſage völlig frei von Wolken, denn ſeine Farbe ſchien mir nicht ſo tief blau, wie man ihn bisweilen ſieht.

Beobachtungen am 27. Auguſt.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus ſechs Platten beſtehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariſkops gegen den Horizont.	Bemerkungen.
11h 49m	56°	71° 28′	Neutral (gegen Norden).
11 56	67	2 15	Neutral (in dem grade gegenüberliegenden Azimute nach Süden).

Alle folgenden Beobachtungen ſind gegen Norden gemacht worden.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus ſechs Platten beſtehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariſkops gegen den Horizont.	Bemerkungen.
12h 30m	30°	—	Sehr lebhafte durchgelaſſene Farben in allen Höhen.
12 31	32	—	„
12 32	35	—	„
12 35	37	—	„
12 37	39	—	Sehr gut ſichtbare durchgelaſſene Farben in jeder Höhe.
12 39	41	—	Die durchgelaſſenen Farben ſind noch in jeder Höhe ſichtbar.
12 44	42	—	Die durchgelaſſenen Farben ſind in jeder Höhe noch etwas ſichtbar.
12 49	43	—	„
12 52	45	—	„
12 59	47	49° 0′	Neutral.
1 5	46	41 40	„
1 8	47	41 35	„

1h 12m	55°	70° 15′	Neutral.
1 14	55	10 59	,,
1 20	53	15 57	,,
1 22	53	67 53	,,
2 32	66	14 11	Neutral auf einer Wolke.
2 35	58	14 32	Neutral auf dem etwas weißlichen Himmel.
2 45	65	34 55	Neutral auf einer Wolke.
2 48	49	34 55	Neutral auf dem etwas weißlichen Himmel.

Es wurden dieselben sechs Platten benutzt, wie am 25. August. Der Himmel war während dieser Versuchsreihe nicht vollkommen rein.

Beobachtungen am 29. August 1815.

Als um 12h 3m Mittags das Polariskop einen Winkel von 5° 12′ mit dem Horizonte macht, finde ich die Polarisation auf einer Wolke unmerklich; die Sonne trifft die untere Fläche dieser Wolke nicht direct; um 12h 7m dasselbe Resultat.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus sechs Platten bestehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariskops gegen den Horizont in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
12h 16m	48° 0′	47° 21′	Neutral.
12 17	48 12	51 24	,,
12 20	80 30	49 25	Neutral auf einer Wolke.
12 22	80 48	44 52	,,
12 27	46 30	50 57	Neutral.
12 30	81 0	45 56	Neutral auf einer Wolke.
12 33	52 0	19 55	Neutral.
12 35	77 30	22 25	Neutral auf einer Wolke.
12 37	77 30	13 3	,,
12 40	77 30	28 33	,,
12 42	48 18	43 1	Neutral.
12 45	79 0	38 12	Neutral auf einer Wolke.
12 49	46 0	50 4	Neutral.

Als die Platten um 40° geneigt sind, sieht man in jeder Höhe durchgelassene Farben.

Während dieser Reihe erschien der Himmel eigenthümlich blau und rein an den Stellen, nach welchen das Polariskop bei einigen dieser Beobachtungen gerichtet wurde. Könnte dies aber nicht zum großen Theile die Wirkung des Contrastes des atmosphärischen Lichtes mit dem sehr glänzenden Lichte der Wolken gewesen sein? denn die kleinste Neigung, unter welcher die Platten gestellt waren, betrug 46° 30′, während ich am 25. August 36° gefunden hatte.

Beobachtungen am 30. August 1815.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus sechs Platten bestehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariskops gegen den Horizont in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
11h 31m	40° 0′	—	In jeder Höhe durchgelassene Farben.
11 36	43 0	47° 34′	Neutral.
11 38	50 0	67 17	„
11 41	50 0	15 4	„
11 43	80 0	53 45	Neutral auf einer Wolke.
11 45	80 0	71 44	„
11 47	85 30	71 44	Neutral auf einer sehr leuchtenden Wolke.
11 50	85 30	71 44	Neutral auf einer sehr weißen Wolke.
11 52	70 0	19 26	„
12 25	43 0	45 13	Neutral.
12 26	46 0	56 47	„
12 30	46 0	25 35	„

Beobachtungen am 1. September 1815.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus sechs Platten bestehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariskops gegen den Horizont in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
12h 10m	48° 12′	65° 34′	Neutral.
12 12	48 12	13 3	„
12 15	40 30	37 10	„
12 17	36 0	—	In jeder Höhe durchgelassene Farben.
12 20	41 0	47 47	Neutral.

Darauf suchte ich den neutralen Punkt, indem ich die aus sechs Platten bestehende Säule in eine gegen den einfallenden Strahl senkrechte Stellung brachte.

Beobachtungszeiten.	Neigungen des Polariskops gegen den Horizont in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
$6^h 36^m$	$18^0\ 0'$	Merkliche durchgelassene Farben.
6 37	27 0	Keine Farben.
6 38	31 15	Merkliche reflectirte Farben.
6 $39^1/_2$	25 7	Neutral.
6 $40^1/_3$	18 59	Durchgelassene Farben.
6 42	25 4	Neutral.
6 $42^2/_9$	29 53	Reflectirte Farben.
6 45	30 36	"
6 $46^1/_3$	24 42	Neutral.
6 47	19 55	Durchgelassene Farben.

Der Himmel war während dieser Beobachtungen rein.

Beobachtungen am 20. September 1815.

Beobachtungszeiten.	Neigungen einer aus sechs Platten bestehenden Säule gegen den einfallenden Strahl.	Neigungen des Polariskops gegen den Horizont in dem der Sonne gegenüberliegenden Azimute.	Bemerkungen.
$11^h 38^m$	37^0	$59^0\ 10'$	Durchgelassene Farben.
11 $40^1/_3$		38 23	"
11 $42^1/_2$		50 29	Neutralisation.
11 $44^1/_2$	40	65 58	Durchgelassene Farben.
11 $47^1/_2$		35 2	"
11 $49^1/_2$	35	—	Durchgelassene Farben in allen Höhen.
12 $7^1/_2$	40	61 23	Durchgelassene Farben.
12 $9^1/_2$		30 23	"

Reiner Himmel.

Die folgenden Beobachtungen beziehen sich auf die Polarisation der vom Mondlichte beleuchteten Atmosphäre.

Am 14. October 1842, Abends 8^h. — Man sah durch das Savart'sche Polariskop sehr deutlich die parallelen Streifen; man sah die Streifen, aber nicht die Farben. Der Himmel war vollkommen rein.

Der Mond war in seinem ersten Viertel gewesen am 11. October um $6^h 50^m$ Morgens; er wird voll sein am 19. October um $11^h 22^m$ Morgens.

17. October $8^h 30^m$. — Der Himmel war sehr rein. Das Licht des Mondes macht η im kleinen Bären (von fünfter Größe) ganz unsichtbar; man sieht, aber ziemlich schwierig, ζ desselben Sternbildes (von vierter Größe). Mit Leichtigkeit sieht man von dem kleinen Bären nur die Sterne α, β, γ.

Eugen Bouvard und Laugier sahen um $8^h 25^m$ mit dem Savart'schen Polariskop Streifen in der Atmosphäre, 20° unterhalb des Mondes in der durch dieses Gestirne gehenden Verticalebene.

XLVI.

Ueber eine von Arago und Laugier beobachtete atmosphärische Erscheinung.*)

Sonntag den 23. Juni 1844 war Abends gegen $8^h 30^m$ der Himmel fast ganz bedeckt; man sah auf der Südseite auf einer fast gleichförmigen Wolkenschicht einen scheinbar kreisförmigen, dunklen, regelmäßigen und sehr ausgedehnten Bogen hervortreten, der indeß weder in Osten, noch in Westen bis zum Horizonte reichte. Dieser Bogen wurde immer schwärzer und bestimmter. Bald bildete sich ein weißlicher Bogen längs des innern Saumes des dunklen Bogens, jedoch nicht in seinem ganzem Verlaufe.

Ober- und unterhalb dieses Phänomens schienen die Wolken in einer eigenthümlichen lebhaften Bewegung zu sein.

Der schwarze sowohl, als auch der weiße Bogen, die beide stets dicht neben einander lagen, erhoben sich allmälich über den Horizont. Um 9 Uhr erreichten sie, nachdem sie merklich schwächer geworden waren, das Zenith; dann verschwanden sie.

---

*) Comptes rendus de l'Académie des sciences, Bd. 18, S. 1168.

Der höchste Punkt des Bogens schien in einer Verticalebene zu liegen, die mit dem Meridian einen Winkel von ungefähr 20° nach Osten zu bildete. Sobald diese Lage dem Phänomene einen magnetischen Character verliehen hatte, beobachtete Herr Laugier von Minute zu Minute die Boussole für die täglichen Schwankungen; dieselbe zeigte aber keine Störungen.

An verschiedenen Punkten des Bogens bemerkte man Spuren von Polarisation, die offenbar nicht von dem Lichte des Mondes herrührten. Es bleibt noch zu untersuchen, ob das Licht der Dämmerung nicht die Ursache derselben sein könnte.

Zum Schluß dieser Mittheilung berichtete Arago noch über die nach Norden zu gemachten Beobachtungen, wobei Wolken die Gestalt und Lage der Nordlichter annahmen.

[Als die in vorstehenden Zeilen beschriebene atmosphärische Erscheinung die Zusendung einer Notiz von Fournet, Professor an der Facultät der Wissenschaften in Lyon, an die Akademie veranlaßt hatte, begleitete Arago den Abdruck derselben im 19. Bd. der Comptes rendus mit folgenden Bemerkungen:]

Bei Mittheilung der interessanten Notiz des Herrn Fournet an die Akademie hat Arago geglaubt eine der Folgerungen bekämpfen zu müssen, welche der lyoner Physiker aus seinen Beobachtungen gezogen hat. Es heißt in der Notiz: „Die in Paris gesehenen schwarzen Bogen waren die zwischen den weißen wolkigen Säulen gelegenen Theile des Himmelsgewölbes.“ An die Stelle dieser Worte wird es passend sein zu setzen: „Die in Paris gesehenen schwarzen Bogen waren sicherlich nicht die zwischen den weißen wolkigen Säulen gelegenen Theile des Himmelsgewölbes.“ Wie hätten auf einer Sternwarte mit allen daselbst vorhandenen Hülfsmitteln, unterstützt von dem Lichte der Dämmerung und des Mondes, nach einer Untersuchung des Phänomens mittelst Fernröhre und mehrerer Polarisationsinstrumente zwei Astronomen sich so weit verirren können, lichte Stellen am Himmel mit Wolken zu verwechseln? Die Annahme ist nicht haltbar; man würde sie sogar lächerlich nennen können.

Die Bogen zu Condrieu und die Bogen zu Paris haben nichts Gemeinschaftliches. Die Erscheinung der Polarstreifen zeigt sich häufig;

die zu Paris wahrgenommene dagegen sehr selten, wenn, recht erwogen, es überhaupt möglich sein würde, noch ein zweites Beispiel zu citiren.

XLVII.

Polarisation des Lichtes der Höfe.

Am 2. Mai 1820 beobachtete ich zu verschiedenen Stunden des Tages, während der Himmel hier und da mit leichten Wolken bedeckt war, mehr oder weniger lebhafte Höfe um die Sonne. Obwohl ich sie nicht gemessen habe, so glaube ich mich doch nicht zu täuschen, wenn ich behaupte, sie hätten zu den gewöhnlichen Höfen von 22° Halbmesser gehört.

Mittelst meines kleinen Polariskops mit gefärbten Bildern untersuchte ich, welche Art von Polarisation das von den verschiedenen Theilen des Hofes ins Auge gelangende Licht darbietet. Meine Aufmerksamkeit wandte sich besonders auf die höchsten und niedrigsten Punkte. Die Polarisation zeigte sich sehr schwach, aber merklich, und zwar war es eine Polarisation durch Brechung. Ich überzeugte mich von dieser wichtigen Thatsache, indem ich die Farben, welche die beiden Segmente (Lunulä) beim Richten des Rohres auf die höchsten und niedrigsten Punkte des Hofes darboten, mit denen verglich, die man wahrnahm, wenn das in das Rohr eintretende Licht zuvor durch Reflexion von einem horizontalen Planglase polarisirt war: die Farben jedes Segmentes in dem ersten Falle waren die complementären von den im zweiten Falle gesehenen.

Mittwoch, den 1. November 1822. — Um $11^h 24^m$ Abends (wahre Zeit) zeigte sich um den Mond ein Hof, der sehr elliptisch erschien; der verticale Durchmesser schien viel größer als der horizontale. Um zu entscheiden, ob dieser Unterschied zwischen beiden Durchmessern eine Täuschung ist, wird man folgende Bemerkungen benutzen können:

Capella befindet sich innerhalb der innern Grenze des Hofes um ungefähr 2°.

α Orionis steht sehr nahe auf dieser Grenze, oder vielleicht noch um 4 oder 5′ weiter vom Mittelpunkte.

Der nach Capella gezogene Radius macht mit dem horizontalen Durchmesser einen Winkel von ungefähr 35°; die nach α Orionis gezogene Linie einen Winkel von ungefähr 10° mit dem verticalen Durchmesser.

[Das Protocoll der Sitzung der Akademie der Wissenschaften vom 11. April 1825 enthält folgende Notiz:]

„Herr Arago zeigt an, daß er bei der Untersuchung eines Hofes um die Sonne gegen 11 Uhr Morgens mittelst eines von ihm erfundenen Instrumentes in dem Lichte dieses Hofes unzweideutige Spuren einer Polarisation durch Brechung erkannte. Dieser Versuch schließt jede Erklärung des Phänomens aus, die sich auf die Voraussetzung einer Reflexion stützen würde. Herr Arago glaubt, daß das von ihm bei dieser Gelegenheit angewandte Instrument allgemeiner wird nachweisen können, wann eine Wolke aus Eistheilen besteht, und somit das Mittel zur Erforschung des Gesetzes der Temperaturabnahme in der Atmosphäre liefern."

XLVIII.

Beobachtungen über das Licht des Mondes.

[Das 2. und 3. Kapitel der 7. Abhandlung über Photometrie (S. 237 bis S. 241) ist der Untersuchung des Mondlichtes gewidmet. Im dritten Bande der populären Astronomie S. 336 und S. 375 hat sich Arago mit demselben Gegenstande beschäftigt. Alle in Arago's Tagebüchern zerstreuten Beobachtungen, deren etliche schon an den genannten Orten seiner sämmtlichen Werke angeführt worden, sind hier nebst einigen in verschiedenen Publicationen befindlichen Notizen zusammengestellt worden.]

30. October 1811, $8^h 30^m$ wahrer Zeit. Ich untersuchte den morgen vollwerdenden Mond, mit dem kleinen Prismenfernrohre; in allen Lagen des Instrumentes schienen mir die beiden Bilder dieselbe Intensität zu besitzen. Durch Vorsetzung einer Bergkrystallplatte vor das Objectiv verloren dieselben Nichts von ihrer ursprünglichen Weiße. (Als in diesen letzten Tagen der Mond, bevor er in das erste Viertel getreten war, betrachtet wurde, bemerkte man zwischen den Intensitäten

der beiden Bilder einen schwachen Unterschied und sehr wahrnehmbare Farben, wenn man die Bergkrystallplatte einschaltete).

Ich richtete das Fernrohr nach dem von einem Metallspiegel reflectirten Bilde, und änderte die Neigung so lange, bis die beiden Scheiben fast dieselbe Intensität zeigten. Der Unterschied war so schwach, daß es viel Aufmerksamkeit bedurfte, um ihn wahrzunehmen; sobald aber unter sonst gleichen Verhältnissen die Bergkrystallplatte vor das Objectiv gestellt wurde, sah man beide Bilder sehr merkliche und complementäre Farben annehmen. Während einer vollständigen Umdrehung des Instruments änderten sich diese Farben in regelmäßiger Weise.

Bei zukünftiger Vergleichung der vorhergehenden Beobachtung mit später anzustellenden, wird es gut sein, zu bemerken, daß sich der Mond nicht sehr weit von seiner Opposition befand, und seine Breite nicht sehr groß war, so daß die von den Oberflächentheilen des Mondes nach der Erde reflectirten Strahlen mit dieser Oberfläche nahe an 90° liegende Winkel bildeten.

4. November 1811. — Heute um 9^h wahrer Zeit richtete ich das kleine Prismenfernrohr auf den Mond. Die beiden Bilder schienen nicht von ganz gleicher Intensität; doch war der Unterschied sehr gering. Als ich die Bergkrystallplatte vor das Objectiv stellte, nahmen die beiden Bilder ziemlich merkliche complementäre Farben an, die sich während einer Umdrehung des Fernrohrs änderten: die Flecken des Mondes (die sogenannten Meere) erschienen stärker gefärbt, als der übrige Theil der Scheibe.

11. November 1811, 9^h wahrer Zeit (letztes Viertel am 8., um $1^h 25^m$ Morgens). — Die beiden Bilder des Mondes in dem kleinen Prismenfernrohre schienen nicht von ganz gleicher Intensität zu sein, doch war der Unterschied nur schwach. Nach Vorsetzen der Bergkrystallplatte vor das Objectiv zeigten die beiden Bilder sogleich sehr merkliche und complementäre Farben. Die Flecken (die sogenannten Meere) waren stärker gefärbt als der übrige Theil der Scheibe.

20. November 1811, um 7^h. — Die beiden Bilder des Mondes besitzen nicht genau dieselbe Intensität; es scheint selbst, daß der Unterschied, der äußerst gering ist, sich durch eine sehr schwache röthliche Färbung des schwächsten Bildes kund gibt.

Mit der Bergkryſtallplatte ſind die beiden Bilder merklich gefärbt, das eine roth, das andere grün. Dieſe beiden Farben, die einzigen, welche man wahrnimmt, ſind nur auf den dunklen Flecken des Mondes ſichtbar.

$7^h 30^m$. — Bei der Unterſuchung des Mondes mit einem nicht achromatiſchen Nachtfernrohre ſah ich das aſchfarbene Licht ſehr merklich ſchmutzig grün gefärbt. Mit einem ebenfalls ſehr wenig vergrößernden, aber achromatiſchen Fernrohre war die grünliche Farbe noch ſichtbar. Das aſchfarbene Licht änderte im erſten Verſuche ſeine Nuance nicht, welches auch die des Randes des Mondes war, den man je nach der Stellung des Oculars roth oder blau machte. Der durch das aſchfarbene Licht erhellte Rand des Mondes hatte zu ſchwaches Licht, als daß man Farben an ihm hätte wahrnehmen können.

Die Herrn Bouvard und Mathieu haben alle dieſe beſondern Erſcheinungen ebenſo wie ich geſehen.

21. November, ungefähr 7^h wahrer Zeit. — Bei der Beobachtung des Mondes mit dem Prismenfernrohre ſah man einen ziemlich merklichen Unterſchied in der Intenſität der beiden Bilder; durch Vorſetzen der Bergkryſtallplatte vor das Objectiv erhielt jedes Bild eine ſehr ſichtbare Färbung. Indeß ſah man nur die rothe und grüne Färbung recht gut, und zwar traten dieſe Farben beſonders auf den dunklen Stellen des Mondes hervor. Im Ganzen waren die Farben viel merklicher als geſtern.

$7^h 15^m$. — Man ſah auch heute, ebenſo wie geſtern, durch das nicht achromatiſche Nachtfernrohr das aſchfarbene Licht grünlich. Da das aſchfarbene Licht bereits abgenommen hatte, ſo war die Farbe weniger lebhaft als geſtern Abend.

Beim Einſchieben oder Ausziehen des Oculars ging der Rand des Mondes ſucceſſive durch verſchiedene prismatiſche Nuancen; aber in keiner dieſer Stellungen bemerkte man auf dem aſchfarbenen Rande des Mondes Farben.

22. November, 6^h wahrer Zeit. — Mit dem Prismenfernrohre ohne Quarzplatte ſind die beiden Bilder des Mondes ungleich; doch iſt der Unterſchied ſehr gering. Mit der Quarzplatte zeigen

beide Bilder ziemlich lebhafte und complementäre Farben. Das Roth und Grün sind besonders auf den dunklen Flecken merklich.

23. November. — Ich richtete an diesem Abende mehrere Male das Prismenfernrohr nach dem Monde, und sah stets, daß zwischen der Lichtstärke der beiden Bilder ein geringer Unterschied vorhanden war. Nach Einschaltung der Bergkrystallplatte färbte sich jedes Bild besonders auf den sogenannten Meeren. Roth und Grün waren die allein gut sichtbaren Farben.

24. November. — Der Intensitätsunterschied zwischen den beiden Bildern ist heute nicht sehr groß; doch erzeugt die Quarzplatte sehr merkliche Färbungen. Es scheint mir das Roth weniger lebhaft als gestern und ehegestern, während das Grün dunkler ist. Zum ersten Male habe ich auch recht deutlich einige Spuren der zwischen Roth und Grün liegenden Farben wahrgenommen.

27. November. — Mit dem Prismenfernrohre unterschieden sich die beiden Bilder nicht merklich in ihrer Intensität. Mit der Bergkrystallplatte sah man keine Farben; doch waren vielleicht die schwarzen Partien in einigen Lagen schwach gelblich grün gefärbt. Vom Roth bemerkte man nicht die geringste Spur.

Ich habe diese Versuche im Laufe des Abends zu verschiedenen Stunden mit denselben Resultaten angestellt; der Mond wurde am 30. voll.

Mittwoch den 29. März 1820. Mondfinsterniß. — Ich ließ mir es heute angelegen sein, den verfinsterten Theil des Mondes zu betrachten, um zu erfahren ob das schwache Licht, welches diesen Theil sichtbar machte, gleichförmig über das ganze Segment vertheilt wäre. Es ist mir nicht möglich gewesen, irgend einen Unterschied zwischen der Intensität des verfinsterten Randes, und der Intensität der andern gleichfalls in den Erdschatten getauchten Theile der Scheibe wahrzunehmen.

Wenn, wie man gewöhnlich annimmt, das Licht, welches den verfinsterten Theil sichtbar macht, aus den in den untern Schichten unserer Atmosphäre gebrochenen Strahlen besteht, würde es dann nicht merklich röthlich gefärbt sein müssen? Ich habe indeß Nichts dergleichen gesehen, obwohl ich sehr aufmerksam darauf war, und mehrere

vollkommen achromatiſche Fernröhre benutzte. Ich ſetze hinzu, daß der weiße und vollkommen beleuchtete Theil des Mondes zur Vergleichung diente, und durch den Contraſt mit ihm würde auch die ſchwächſte Färbung des benachbarten Segments aufgefallen ſein.

Einige Zeit nach dem Aufgange des Mondes war ſein verfinſterter Theil mit dem Nachtfernrohre ſehr ſichtbar, während man mit dem Dollond'ſchen Fernrohre nicht die geringſte Spur davon bemerkte.

Man führt Mondfinſterniſſe an, bei welchen der Mond gänzlich verſchwunden war: iſt es dem Angeführten zufolge nicht möglich, daß dies an der Stärke der Vergrößerung gelegen hat, und würde man nicht annehmen dürfen, daß der Mond ſehr ſichtbar geblieben ſein würde, wenn der Beobachter eine ſehr ſchwache Vergrößerung angewandt hätte?

Das Licht des verfinſterten Theils zeigte durchaus nicht die grünliche Färbung, die man bisweilen in dem aſchfarbenen Lichte findet.

27. December 1833. Totale Mondfinſterniß. — Der ganz verfinſterte Theil des Mondes zeigte eine tief rothe Färbung. Beim Eintritte der totalen Verfinſterung war das Licht ſicherlich ſchwächer, als bei manchen in den Annalen der Aſtronomie aufbewahrten Finſterniſſen; doch glaube ich nicht, daß jemals dieſes ſecundäre Licht ſich mit einer ebenſo hervortretenden rothen Färbung gezeigt hat.

[In dem Berichte über die Sitzung der Akademie der Wiſſenſchaften vom 17. Juni 1844 heißt es:]

„Herr Arago berichtete mündlich über Wahrnehmungen, die er während der letzten totalen Mondfinſterniß (vom 31. Mai 1844) auf der Sternwarte zu machen Gelegenheit gehabt hatte. Er hob beſonders die deutlichen Spuren von Polariſation hervor, die man bemerkte, als man mittelſt eines Polariſkops das röthliche über der Mondſcheibe im Augenblicke der Conjunction ſelbſt verbreitete Licht analyſirte. Herr Arago wird noch mehrere Einzelheiten über dieſes ſeltſame Phänomen mittheilen. Alle ſeine Mitarbeiter am Obſervatorium haben auf ſeine Bitte die Güte gehabt, die Exiſtenz deſſelben zu conſtatiren.“

[In dem Berichte über die Sitzung vom 9. December deſſelben Jahres findet ſich folgende Notiz:]

„Es wurde ein Brief von Herrn Zantedeſchi an Arago vorgeleſen; wir heben daraus folgende Stelle hervor:

„Während der totalen Mondfinsterniß vom 31. Mai 1844 entdeckten Sie deutliche Spuren von Polarisation, als Sie mittelst eines Polariskops das röthliche und zerstreute Licht analysirten, das im Augenblicke der Conjunction selbst die gesammte Scheibe des Gestirns erhellte. Während der Mondfinsterniß vom 24. November 1844 habe ich die von Ihnen entdeckte Polarisationserscheinung vollkommen bestätigt gefunden."

[Im 3. Bande des Kosmos S. 539 theilt A. v. Humboldt die folgende Stelle mit, als entlehnt aus 1847 ihm von Arago übersandten Manuscripten:]

„Das Licht des Mondes ist gelb, während das der Venus weiß ist. Während des Tages erscheint der Mond weiß, weil mit dem Lichte der Mondscheibe sich das blaue Licht desjenigen Theils der Atmosphäre mischt, durch welchen das gelbe Licht des Mondes hindurchgeht."

XLIX.

Bemerkungen über das aschfarbene Licht.

[Das Protocoll über die Sitzung der Akademie der Wissenschaften vom 5. August 1833 enthält folgende Stelle:]

Herr Arago lenkt die Aufmerksamkeit auf die Vergleichung der Lichtintensität desjenigen Theiles vom Monde, welchen die Sonnenstrahlen direct erleuchten, mit der Intensität des Theils desselben Gestirnes, welcher blos das von der Erde reflectirte Licht empfängt. Nach bereits in dieser Beziehung unternommenen Versuchen glaubt er, daß es mit vervollkommneten Instrumenten möglich sein wird, in dem aschfarbenen Lichte die Unterschiede in dem mehr oder weniger wolkigen Zustande der Erdatmosphäre wahrzunehmen. Es ist also nicht unmöglich, so erstaunlich auch auf den ersten Blick ein solches Resultat erscheinen mag, daß einst die Meteorologen von dem Anfehen des Mondes schätzbare Anzeigen über den mittlern Zustand der Durchsichtigkeit der Erdatmosphäre in denjenigen Halbkugeln, welche successive zur Erzeugung des aschfarbenen Lichtes beitragen, entlehnen werden.

[In seinen geschriebenen Notizen hat Arago die schon von Lambert gemachten Bemerkungen zusammengestellt:]

„Das Licht des Mondes ist aller Wahrscheinlichkeit nach ein Gemische von dem farbichten Lichte der Körper im Monde. Wenn wir demnach annehmen, daß viele dieser Körper ihre Farben auf eine periodische Art ändern, so wird dadurch über die verschiedenen Erscheinungen der Mondflecken ein neues Licht ausgebreitet. Um sich dieses besser vorstellen zu können, wollen wir den Fall umkehren, und in Gedanken aus dem Monde auf die Erde sehen, dabei aber von den Wolken, welche oft ganze große Strecken der Erdfläche bedecken, abstrahiren. Sehen wir demnach in Gedanken im Junio aus dem Monde auf die nördliche Fläche der Erde, so wird uns ihr Anblick sehr merklich von dem verschieden erscheinen, den sie uns im December gibt. Denn im ersten Falle sind auf der nördlichen Hälfte der Erdfläche Felder und Wälder grün, im andern aber entweder mit Schnee bedeckt oder grau und schwarz. Nimmt man nun noch den Umstand von den Wolken hinzu, so können die Bewohner des Mondes und der Planeten leicht verleitet werden, von der Erde eben so zu urtheilen, wie verschiedene Astronomen aus der Veränderlichkeit der Flecken in einigen Planeten geurtheilt haben, daß nämlich daselbst große Veränderungen vorgehen müssen.“ (Berliner astronomisches Jahrbuch für 1776, S. 148.)

„Damit kömmt es viel darauf an, ob an den Orten, wo der Mond zur Zeit der Finsterniß auf oder untergeht, der Himmel mit Wolken bedeckt ist oder nicht. Denn im erstern Falle dringen nur diejenigen Sonnenstrahlen bis zum Monde, die über den Wolken durch die Atmosphäre der Erde durchgehen. Im andern Falle aber auch sie, so näher bei der Erdfläche vorbeistreichen und stärker gebrochen werden. Dieses scheinen auch die beiden erst erwähnten Finsternisse zu bekräftigen. Bei der von 1772 ging die Sonne blutroth unter. Diese rothen Sonnenstrahlen drangen bis auf den ganz verfinsterten Mond, und gaben demselben mitten in der größten Verfinsterung ein kupferfarbichtes Licht, so daß er wie in Blut verwandelt aussah. Bei der Finsterniß vom 30. Sept. 1773 war zwar der Mond nur etwas über die Hälfte verfinstert. Man konnte aber in dem verfinsterten Theile keine Spur von einigem Lichte bemerken. Es mag nun hiebei die trübe und wolkichte Luft die Strahlen, so näher bei der Erdfläche hätten vorbeigehen können, aufgefangen und verhindert haben, bis zum Monde durchzudringen. Daß man zuweilen

den neblichten Streifen um den Schatten im Monde, von ungleicher Breite und höckericht ſieht, rührt nun allem Anſehen nach daher, daß in ſolchen Fällen nicht aller Orten Wolken ſind, die die durch die Atmoſphäre nach dem Monde gehenden Sonnenſtrahlen auffangen. Jedoch dieſes alles mag bei künftig ſich ereignenden Mondfinſterniſſen durch ſorgfältigere Beobachtungen mehr aufgeklärt werden." (Berliner aſtronomiſches Jahrbuch für 1777, S. 111.)

L.

Bemerkungen über die Brechung des Waſſers bei Temperaturen in der Nähe des Dichtigkeitsmaximums.

[Arago's Beobachtungsregiſter enthalten die folgenden in der am 5. Auguſt 1850 der Akademie der Wiſſenſchaften vorgelegten Abhandlung citirten Notizen:*)]

Das von mir benutzte Prisma iſt achromatiſch. Der brechende Winkel des Waſſerprismas iſt nach unten gerichtet, ſo daß eine Zunahme in der Dichtigkeit des Waſſers das Bild abwärts bewegen muß. Man muß dabei aber bemerken, daß, da das Prisma an einem Fernrohre angebracht iſt, welches die Gegenſtände umkehrt, die wirklichen Bewegungen gerade die entgegengeſetzten der ſcheinbaren ſind. Um jede Zweideutigkeit in den Aufzeichnungen zu vermeiden, ſollen ſtets die ſcheinbaren oder diejenigen Bewegungen, welche man unmittelbar beim Sehen durch das Fernrohr wahrnimmt, angegeben werden.

Beobachtungen vom 24. Januar 1811.

Das im Innern des Prismas angebrachte Thermometer zeigt ſeit langer Zeit 3,1°. Das Bild liegt (ſcheinbar) unterhalb des Fadens.

Man öffnet das Fenſter des Thurmes und eine halbe Stunde nachher zeigt das Thermometer 1,9°. Das Bild iſt etwas über den Faden gegangen. Es iſt $12^1/_2$ Uhr Mittags.

Man ſchließt die Fenſter, und um 1^h ſteht, als das Thermometer 3,8° zeigt, die Mire ſehr merklich unterhalb des Horizontalfadens.

---

*) S. oben S. 247.

Bei 5,0° beginnt die Mire sich von dem Horizontalfaden abwärts zu lösen, so daß man einen sehr feinen Lichtfaden dazwischen sieht.

Bei 4°,1 (lange Zeit nachher) steht die Mire, wenn auch nur sehr wenig, oberhalb.

Ich öffne die Fenster; die Sonnenstrahlen treffen auf die vordere Fläche des Prismas. Das Thermometer zeigt 5,6°; die Mire liegt fast gänzlich unterhalb.

Beobachtungen vom 25. Januar 1812 (Morgens).

Die Temperatur ist seit langer Zeit stationär und das Thermometer des Prismas zeigt 1°. Die Mire liegt (scheinbar) gänzlich oberhalb des Fadens.

Ich öffne das Fenster. Das Thermometer steigt auf 2,5°. Die Mire scheint gesunken zu sein.

Ich erwärme das Prisma durch die Hand auf der äußern Fläche: die innere Temperatur wird 3,0°. Die Mire ist merklich gesunken.

Die Sonne wird bedeckt; die Temperatur des Wassers ist bis 0,8° gesunken. Die Mire ist gestiegen.

An demselben Tage (Nachmittags 4 Uhr).

Das Thermometer des Prismas steht seit langer Zeit auf 5,8°. Man stellt die Mire hinter den Faden.

Man öffnet das Fenster: das Thermometer zeigt 5,0° und die Mire ist etwas gestiegen.

Als das Thermometer 4,6° zeigt, berührt der Faden fast den untern Rand der Mire.

Bei 3,8° kann man nicht mehr zwischen dem Faden und der Mire hindurchsehen.

Beobachtungen vom 29. Januar 1812.

Das Thermometer in der Luft zeigt 2,3°, das Thermometer des Prismas 6°. Die Mire steht genau hinter dem Faden.

Temperatur der Luft 2,0°, des Prismas 5,0°. Die Mire ist merklich gestiegen.

Temperatur der Luft 2,0°, des Prismas 4,0°. Die Miren scheinen noch weiter gestiegen zu sein.

Temperatur der Luft 1,5°, des Prismas 3,0°. Die Mire liegt gänzlich oberhalb des Fadens.

Man stellt die Mire auf den Faden zurück, um ihre Aenderung leichter wahrnehmen zu können.

Temperatur der Luft 2,0°, des Prismas 1,5°. Während des Ueberganges der vorhergehenden Temperatur zu dieser ist die Mire fast nicht gestiegen, doch glaube ich, daß sie hier ein wenig gestiegen ist; jedenfalls steht ganz fest, daß sie nicht im Geringsten gesunken ist.

Man schließt die Fenster: die Temperatur des Prismas steigt auf 6,0°, die der Luft auf 5,0°, und die Mire geht vollständig unterhalb des Fadens.

Ich habe oft die Temperatur des Wassers im Innern des Prismas durch Erwärmen der äußern Fläche desselben mit der Hand von 2° auf 4° gebracht. In allen diesen Versuchen sank die Mire (scheinbar), was auf eine Abnahme der brechenden Kraft des Wassers oder seiner Dichtigkeit hinweist. Es war daher nothwendig sich zu versichern, daß der Winkel des Prismas constant blieb, weil sonst die Bewegungen des Bildes von dieser Ursache herrühren könnten. Ich visirte deshalb während der Nacht nach einem von dem festen Theile des Prismas erzeugten Bilde; ich erwärmte dann mit der Hand, gerade wie bei den Versuchen am Tage, Alles, bis das Wasser, dessen Temperatur anfänglich 2° betrug, auf 10° gestiegen war, was eine sehr merkliche Bewegung in dem Bilde, welches die durch die Flüssigkeit hindurchgehenden Strahlen erzeugten, hervorgerufen haben würde. Diese Temperaturänderung hat aber keine Bewegung in dem Bilde, nach dem ich visirte, hervorgebracht, so daß die Schicht Terpentinöl, mit welcher die Glasprismen auf das hohle Prisma gekittet sind, sich gleichförmig auszudehnen und den Winkel des Prismas nicht zu ändern scheint. Dieser Versuch wird uns berechtigen, die Verschiebungen des Bildes einer Aenderung der brechenden Kraft des Wassers zuzuschreiben. Das zu den vorhergehenden und zu den nachfolgenden Versuchen benutzte Prisma besteht aus einem Glasprisma von ungefähr 30°, das von einer Fläche zur andern hin durchbohrt ist. Die beiden Oeffnungen werden durch zwei Glasprismen geschlossen, deren Winkel eine zu dem Winkel des ersten entgegengesetzte Lage haben, und die mit ihm durch eine dünne Schicht Terpentinöl zusammen gekittet sind. Zur Einführung der Flüssigkeit und eines Thermometers in das Innere des Apparates dient ein kleiner in der dem brechenden Winkel gegenüberliegenden Fläche des Prismas angebrachter Canal. Daraus folgt, daß das Prisma, durch welches

visirt wird, aus einem flüssigen Prisma von 30° und aus zwei in entgegengesetztem Sinne liegenden Glasprismen besteht, welche letztern zur Achromatisirung des erstern dienen, wodurch man in den Stand gesetzt wird, mit Leichtigkeit sehr genau einzustellen.

Dies vorausgeschickt, so ist klar, daß wenn man von einer bestimmten Temperatur ausgeht, die Bewegungen der Mire aus zwei entgegengesetzten Wirkungen hervorgehen, nämlich aus der Aenderung in der Ablenkung, welche die Aenderung in der Dichtigkeit des Wassers nach sich zieht, und von der entgegengesetzten Aenderung, welche die entsprechende Dichtigkeitsänderung in den beiden Prismen hervorzubringen strebt. Bei niedrigen Temperaturen oder nahe beim Maximum der Contraction des Wassers kann diese letzte Wirkung die erste ausgleichen, und vielleicht ist dies der Grund, weshalb die Mire beim Uebergange von + 2° zu 0° fast ganz still steht. Wie dem auch sein möge, wenn man bei dem Versuche nicht den Einfluß der Glasprismen in Rechnung zieht, so wird man das Dichtigkeitsmaximum bei einem viel zu hohen Grade finden.

Versuchsreihe ohne nähere Angabe des Datums.

Das Thermometer des Prismas zeigt 0,8°. Die erste Mire steht oberhalb des Fadens. Zwischen der zweiten Mire und dem Faden sieht man noch einen kleinen Abstand, die Ungleichheiten des Fadens berühren aber die Mire.

Man öffnet die Fenster. Das Thermometer in der Luft zeigt — 2,5°, das Thermometer im Prisma — 1,3°. Die erste Mire scheint ihren Ort nicht geändert zu haben; man sieht noch den kleinen Zwischenraum zwischen dem Faden und der zweiten Mire.

Man schließt die Fenster; die Sonne scheint, das Instrument ist aber geschützt. Temperatur in der Luft 1,5°, im Prisma 0,1°. Die beiden Miren scheinen mir genau an demselben Orte geblieben zu sein.

Bei 2,0° in der Luft und 1,2° im Prisma sehe ich nicht, daß die Mire sich geändert hat.

Bei 3,5° in der Luft und 3,0° im Prisma scheinen die beiden Miren etwas gesunken zu sein. (Das Niveau hat sich um wenigstens 2″ geändert; ich habe die Correction nicht gemacht. Bei Anbringung derselben würden die beiden Miren noch mehr gesunken sein.)

Bei 3,5° in der Luft, und 3,7° im Prisma sind die beiden Miren

etwas gesunken. (Das Niveau ist um 4″ aus seiner ursprünglichen Lage entfernt; man hat keine Correction angebracht.)

Bei 3,8° in der Luft, und 4,0° im Prisma ist die erste Mire sehr merklich gesunken; die zweite steht um eine Fadendicke unter dem Faden. (Eine Correction des Niveaus läßt die Bilder noch mehr sinken.)

Bei 4,8° in der Luft, und 5,2° im Prisma sind die beiden Miren merklich gesunken.

Man öffnet die Fenster. Das Thermometer in der Luft zeigt 3,7°, das andere im Prisma 4,2°. Beide Miren sind merklich gestiegen.

Aus diesen Versuchen folgt, daß der Uebergang von −1,3° auf +1,2° die Brechung des Wassers nicht merklich genug ändert, um mit einem Prisma von 30° eine merkliche Verrückung des Bildes wahrzunehmen;

daß bei dem Uebergange von +1,2° auf 3,0° die Mire sich senkt, da die Brechung sich vermindert;

daß die Brechung sehr merklich abnimmt, wenn die Temperatur von 3 auf 4° steigt;

und daß endlich, wenn das Thermometer im Prisma von 4° auf 5,2° steigt, ebenfalls wieder eine sehr merkliche Abnahme in der Brechung des Wassers eintritt.

Beobachtungen vom 8. December 1812.

Das Thermometer des Prismas zeigt 5,0°. Die Mire steht weit unterhalb des Fadens.

Ich öffne die Fenster; die Temperatur sinkt. Das Thermometer zeigt 1,8°. Die Mire ist nicht mehr unterhalb, sondern vielleicht bereits etwas oberhalb.

An demselben Tage (1ʰ Nachmittags).

Das Thermometer des Prismas zeigt seit ziemlich langer Zeit 0°. Ich stelle die Mire auf den Faden.

Ich schließe die Fenster. Lange Zeit nachher fand ich, daß, als die Temperatur des Wassers 3,0° erreichte, die Mire etwas gesunken war.

Bei 4,0° steht die Mire merklich unterhalb.

Beobachtungen vom 9. December 1812.

Von 6,7° bis 5,0° ist die Mire viel gestiegen (scheinbar).

Von 4,0° bis 0,9° ist sie ebenfalls merklich gestiegen.

Von 0,9° bis 3,0° ist sie gesunken.

Von 0,9° bis 4,0° ist sie sehr merklich gesunken.

Bei 4,7° steht die Mire fast ganz und gar oberhalb des Fadens.

Die Temperatur ist seit lange 6,0°. Die Mire steht auf dem Faden.

Man öffnet die Fenster. Bei 4,5° ist die Mire deutlich gestiegen.

Bei 4,0° steht die Mire merklich oberhalb des Fadens; ich stelle sie wieder auf den Faden zurück.

Bei 2,5° ist die Mire sicher gestiegen.

Bei 2,0° ist die Mire fast ganz und gar oberhalb.

Bei 1,0° ist die Mire fast ganz oberhalb.

Um mich zu vergewissern, daß das Instrument während der Beobachtungen nicht aus seiner Lage kommt, visire ich mit dem untern Fernrohre nach einer zweiten Mire: ich habe gefunden, daß dies Mittel der Anwendung des Niveaus vorzuziehen ist.

Beobachtungen vom 17. Januar 1813.

Ich visire durch ein Wasserprisma von 90° und durch ein in entgegengesetztem Sinne aufgestelltes Crownglasprisma. (Der brechende Winkel des Prismas liegt rechts.)

Die Temperatur der Luft ist seit lange 2,0°. Die Mire befindet sich (scheinbar) links vom Faden.

Ich schütte warmes Wasser von 14° hinzu. Die Temperatur des Wassers im Prisma nach der Mischung ist 4°,5. Die Mire steht hinter dem Faden.

Ich füge noch etwas warmes Wasser hinzu; die Temperatur steigt bis 5,0° und die Mire liegt nun rechts vom Faden.

Derselbe Apparat.

Die anfängliche Temperatur ist 2,0° oder 1,5°. Die Mire steht auf dem Faden.

Ich schütte Wasser von 9,5° hinzu. Die Temperatur der Mischung ist 5,0°. Die Mire steht um $^5/_6$ Decimalminute rechts vom Faden.

Anfänglicher Zustand 1,5°. Die Mire steht auf dem Faden.

Man gießt Wasser von 8,5° hinzu; die Temperatur der Mischung war 4,5°. Die Mire liegt rechts.

Als die Temperatur 5,0° beträgt, liegt die Mire 0,8 Decimalminuten rechts.

Um mich zu überzeugen, daß diese Aenderungen in der Lage der

Mire nicht von einer Aenderung in dem Winkel des Prismas abhängen, habe ich dieſelbe Beobachtung an den andern Winkeln wiederholt.

Verſuche an dem Winkel von 45°.

Der brechende Winkel liegt links.

Bei der anfänglichen Temperatur von 1,8° ſteht die Mire auf dem Faden.

Man gießt Waſſer von 10° hinzu. Die Temperatur der Miſchung iſt 4,5°. Die Mire liegt um 0,2 Decimalminuten links (ſcheinbar).

Anfänglicher Zuſtand 1,7°. Die Mire ſteht auf dem Faden.

Man gießt Waſſer von 10° hinzu. Die Temperatur der Miſchung ſteigt dann bis 5,2°. Die Mire ſteht merklich links.

Als ich in derſelben Weiſe mit dem andern Winkel von 45° verfuhr, habe ich ſtets bemerkt, daß das Waſſer beim Uebergange von 1° auf 5° an Dichtigkeit abnimmt; denn die Mire geht in dem Fernrohre, welches die Gegenſtände verkehrt zeigt, (alſo ſcheinbar) in dem Sinne des brechenden Winkels des Prismas.

Beobachtungen vom 19. Januar 1815.

Ich nehme ein gleichſeitiges hohles Prisma und fülle es mit deſtillirtem Waſſer von 3,0°.

Ich erſetze das deſtillirte Waſſer durch Waſſer aus Arcueil von 3,8°. Die Brechung iſt merklich größer geworden.

Darauf erſetze ich das Waſſer aus Arcueil durch deſtillirtes Waſſer von 2,9°; die Brechung iſt merklich ſchwächer.

An die Stelle dieſes deſtillirten Waſſers bringe ich Waſſer aus Arcueil von 5,5°, und finde, daß trotz der Temperaturdifferenz von 2,6° die Brechung zugenommen hat.

Ich erhöhe die Temperatur des Waſſers von Arcueil bis 6,8°. Die Mire iſt noch nicht ganz auf die Stelle zurückgekommen, welche ſie einnahm, als das Prisma voll deſtillirten Waſſers von 2,9° war; es fehlte aber wenig daran. Man würde hieraus ſchließen können, daß deſtillirtes Waſſer von 2,9° dieſelbe Brechung zeigt, wie Waſſer aus Arcueil von ungefähr 8°.

Ich erniedrige die Temperatur des Waſſers aus Arcueil, die 5,5° betrug bis 2,6°; die Brechung hat zugenommen.

Das Waſſer aus Arcueil von 1,5° erſetze ich durch Waſſer, das ebenfalls aus Arcueil ſtammt, von 5°; und die Brechung iſt geringer geworden.

Bei destillirtem Wasser wächst die Brechung von 4,5° bis 1,6°; von 1,5° bis 4,0° nimmt sie ab; von 5,7° bis 2,9° wächst sie.

Von 1° bis 4,3° hat die Brechung merklich abgenommen.

Bei dieser Versuchsreihe habe ich gleichzeitig an den beiden Kanten des Glasprismas, in welches ich die Flüssigkeit brachte, mittelst zweier auf eine entfernte Mire gerichteten Fernröhre beobachtet.

LI.

Einflüsse, welche auf die Brechung der Körper wirken.*)

Als Fresnel vor längerer Zeit vier Glasprismen an einander legte und zwischen den Backen eines eisernen Schraubstocks zusammenpreßte, gelang es ihm, darin eine Doppelbrechung hervorzurufen und dem bloßen Auge sichtbar zu machen. Welche Veränderung ist in der Substanz des Glases vorgegangen? Eine Annäherung der Molecüle im Sinne der Compression, und weiter nichts.

Eine analoge Dichtigkeitsänderung entsteht im Glase, wenn man dasselbe, nachdem es heftig erhitzt worden, durch Eintauchen in eine Flüssigkeit plötzlich abkühlt. Das schnell abgekühlte Glas scheint also geeignet, den Apparat von Fresnel darzustellen, und in der That hat Guérard, Doctor der Medicin, dieses Resultat erhalten. Vier Prismen, jedes von 90°, die in demselben Sinne aus einer rasch gekühlten Glasplatte geschnitten waren, haben eine merkliche Doppelbrechung gegeben. Diese Prismen waren ebenso wie die vier von Fresnel comprimirten Prismen angeordnet und gleichfalls durch andere Prismen aus gewöhnlichem Glase achromatisirt.

Guérard hat sich versichert, daß die beiden von seinem Systeme gelieferten Bilder rechtwinklig auf einander polarisirt sind, und daß das rasch gekühlte Glas eine negative Doppelbrechung besitzt.

---

*) S. die Abhandlung enthaltend Vorschläge zu Versuchen u. s. w. S. 254.

LII.

Mit einem Glasprisma beobachtete Polarisationsphänomene.

Bei der Untersuchung eines von Herrn Bosc erhaltenen rechtwinkligen Crownglasprismas durch ein Kalkspathprisma unter kleinern Winkeln als denjenigen, wo die totale Reflexion beginnt, bemerkt man in demjenigen der Bilder der zweiten Fläche, das am schwächsten erscheinen würde, wenn man das reflectirte Licht mit einem Glasspiegel auffinge, ein schwarzes Kreuz, das die Oberfläche des Prismas in zwei gleiche Theile zu theilen scheint.

Nach der hier beigefügten Zeichnung (Fig. 22) erräth man, daß

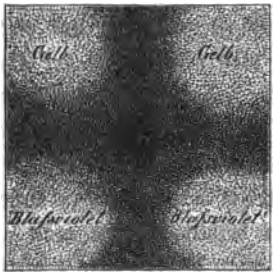


Fig. 22. — Beobachtung eines von einem Spiegel reflectirten und durch ein rechtwinkliges Crownglasprisma hindurch gegangenenen Strahles mittelst eines Kalkspathprismas.

dem schwarzen Kreuze in dem andern Bilde ein weißes Kreuz entspricht; daß Violet an die Stelle der gelben Flecken des letztern tritt, und ebenso umgekehrt das blasse Violet durch ein etwas lebhaftes Gelb ersetzt wird.

Läßt man das Licht auf den andern Winkel fallen, so sieht man genau dieselbe Figur, aber etwas weniger regelmäßig.

Ich untersuche jetzt mein Prisma durch die beiden parallelen Flächen (das einfallende Licht ist polarisirt). Das Bild, welches, wenn man blos nach dem polarisirten Lichte visirte, schwach sein würde, besitzt das in

Fig. 23 dargeſtellte Ausſehen; in dem Bilde, welches ſtark ſein würde, ſind die Farben die complementären.

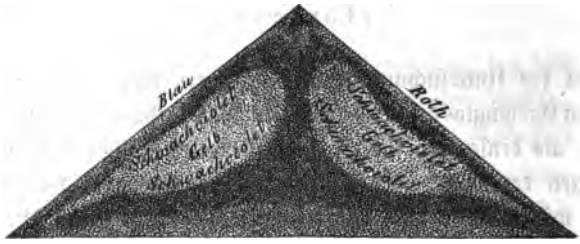


Fig. 23. — Beobachtung eines durch die beiden parallelen Flächen eines rechtwinkligen Crownglasprismas hindurchgegangenen polariſirten Strahles mittelſt eines Kalkſpathprismas.

Nach einer Vierteldrehung gehen die Farben des einen Bildes in das andere über, und umgekehrt; aber, und dies iſt merkwürdig, nach einer Achteldrehung iſt blos eine Hälfte der Figur, die in einem der Bilder ſichtbar iſt, in die andere übergegangen, wobei die Richtung, in welcher man den Kalkſpath dreht, beſtimmt, welcher Theil des einen der Bilder in das andere übergeht.

Eine Bewegung des Glasprismas hat daſſelbe Reſultat zur Folge.

Durch welche der beiden Flächen man auch das Licht in das Prisma eintreten läßt, man bemerkt ſtets denſelben Effect.

LIII.

Ueber den Hydrophan.*)

Ein lapis mutabilis (Hydrophan)**), der 9 Karat $2^1/_2$ Gran oder $38^1/_2$ Gran (wenn man 1 Karat = 4 Gran annimmt) oder 1,978 Grammen wog, hatte an Gewicht 0,103 Grammen zugenommen, als ſeine Poren mit Waſſer gefüllt waren. Man hat alſo die folgende Gleichung

$$\frac{i^2-1}{\varrho}=\frac{i'^2-1}{\varrho'};$$

woraus man erhält $i'^2=\frac{\varrho'}{\varrho}(i^2-1)+1.$

*) S. oben die Abhandlung enthaltend Vorſchläge zu Verſuchen u. ſ. w. S. 255.

**) S. Nouveaux Mémoires der berl. Akad. 1776, Bd. 7. S. 166; Abhandlung von Gerhard.

Die Dichtigkeit des Steins im ersten Falle verhält sich zu der im zweiten, wie 38,5 : 40,5; woraus sich ergibt:

$$\frac{\varrho'}{\varrho} = \frac{405}{385} = 1{,}0519.$$

Nehmen wir nun an, daß der Hydrophan in seinem gewöhnlichen Zustande dieselbe Brechung besitze wie das Crownglas, oder daß man habe

$$i = 1{,}5,$$

so erhält man $i'^2 = 2{,}314875$

und hieraus $i' = 1{,}521.$

Setzen wir nun den Winkel meines Hydrophanprismas = 13°, den Brechungswinkel = 6° 30′, so finde ich durch Rechnung 17′0″ als Unterschied in der Ablenkung zwischen dem trocknen und dem feuchten Hydrophan.

LIV.

Ueber die Bestimmung der Brechungscoefficienten durch die Methode der Interferenzen.

[In seiner Abhandlung über die Anwendung der Methode der Interferenzen zur Bestimmung der Brechungscoefficienten hat sich (S. 272.) Arago auf eine von Fresnel 1822 in dem Supplemente zu Thomson's Chemie gemachte Publication der von den beiden berühmten Physikern bei ihren Versuchen erhaltenen Resultate bezogen.

Fresnel hat sich in folgender Weise ausgesprochen (S. 65 jenes Supplements):

„Arago hat einen wichtigen Versuch gemacht, welcher ein Mittel liefert, um die geringsten Unterschiede in dem Brechungsvermögen der Körper mit fast unbeschränkter Genauigkeit zu messen.

„Wir haben gesehen, daß die durch zwei sehr feine Spalten erzeugten Interferenzstreifen stets symmetrisch in Bezug auf eine Ebene lagen, welche durch den leuchtenden Punkt und durch die Mitte des zwischen den beiden Spalten befindlichen Raumes geht, so lange die beiden zur Interferenz kommenden Lichtbündel durch ein und dasselbe Mittel, z. B. durch Luft, wie dies bei der gewöhnlichen Anordnung des Apparates der Fall ist, hindurch gegangen sind. So bleibt es

aber nicht, wenn eins der Bündel nur durch Luft geht, während das andere auf seinem Wege einen stärker brechenden Körper wie ein dünnes Glimmer- oder ein dünngeblasenes Glasblättchen antrifft. Dann ändern die Streifen ihren Ort, und verschieben sich nach der Seite des Bündels, welches das durchsichtige Blättchen durchlaufen hat; sobald letzteres nur etwas dick ist, gehen sie sogar aus dem erleuchteten Raume heraus und verschwinden. Dieser wichtige Versuch, der von Arago herrührt, läßt sich gleichfalls auch mit dem aus den beiden Spiegeln bestehenden Apparate ausführen, wenn man das dünne Glimmerblättchen in den Weg eines der Strahlen vor oder nach seiner Reflexion stellt.

„Wir wollen jetzt sehen, welche Folgerung sich aus dieser merkwürdigen Thatsache mittelst des Princips der Interferenzen herleiten läßt. Die Mitte des centralen Streifens entsteht stets, wie wir bereits bemerkt haben, durch die gleichzeitige Ankunft der in demselben Augenblicke von dem leuchtenden Punkte ausgegangenen Strahlen; in dem gewöhnlichen Falle, wo die Strahlen dasselbe Mittel durchlaufen, ist es also, damit sie gleichzeitig in dem Punkte ihres Zusammentreffens anlangen, nöthig, daß sie genau gleiche Wege durchlaufen haben. Man begreift aber, daß wenn sie durch Mittel hindurchgehen, in denen das Licht sich nicht mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt, derjenige der beiden Strahlen, der am langsamsten gegangen ist, später in jenem Punkte anlangt, weshalb also letzterer nicht die Mitte des centralen Streifens sein kann. Derselbe muß sich nothwendig dem Bündel nähern, welches am langsamsten gegangen ist, dergestalt, daß die geringere Länge des Weges durch die in seinem Gange erlittene Verzögerung compensirt wird; und umgekehrt, wenn die Streifen nach rechts oder links verschoben sind, so muß man daraus schließen, daß das Lichtbündel auf derjenigen Seite, nach welcher sie hingerückt sind, in seinem Gange verzögert worden ist. Sonach ergibt sich aus dem angeführten Versuche Arago's die naturgemäße Folgerung, daß das Licht sich schneller in der Luft als in dem Glimmer oder dem Glase und überhaupt in andern dichten stärker als die Luft brechenden Körpern fortpflanzt; ein Resultat, welches der von Newton aus der Voraussetzung einer starken Anziehung der Lichtmolecüle seitens der dichten Körper hergeleiteten Erklärung der Brechung direct entgegengesetzt ist, indem

aus letzterer Theorie folgen würde, daß die Geschwindigkeit des Lichtes in diesen dichten Körpern größer wäre als in den dünnen Mitteln.

„Dieser Versuch liefert uns ein Mittel, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Substanzen zu vergleichen. Gesetzt nämlich man habe mittelst des Sphärometers sehr genau die Dicke des dünnen Glasblättchens, das man in die Bahn eines der Lichtstrahlen gestellt hat, und mittelst des Mikrometers die Verschiebung der Streifen gemessen: so wird man, da man weiß, daß vor der Einschaltung des Blättchens die durchlaufenen Wege für die Mitte des centralen Streifens gleich waren, berechnen können, wie viel sie in seiner neuen Lage an Länge differiren; und diese Differenz wird die Verzögerung sein, welche das Licht in dem Glasblättchen von bekannter Dicke erlitten hat. Fügt man dann diese Dicke zu der berechneten Differenz hinzu, so erhält man den kleinen Weg, welchen das andere Bündel in der Luft zurückgelegt hat, während das erste Bündel das Glasblättchen durchlief; und dieser Weg, verglichen mit der Dicke des Glasblättchens, gibt das Verhältniß der Geschwindigkeit des Lichtes in der Luft zu der Geschwindigkeit des Lichtes in dem Glase.

„Man kann dies Problem noch aus einem andern Gesichtspunkte betrachten, mit welchem es gut ist, sich vertraut zu machen. Die Dauer jeder Undulation hängt, wie wir gesehen haben, durchaus nicht von der größern oder geringern Geschwindigkeit ab, mit welcher die Erschütterung sich in dem Fluidum fortpflanzt, sondern blos von der Dauer der vollständigen Schwingung, welche jene Welle hervorgerufen hat. Wenn also die Lichtwellen von einem Mittel in ein anderes übergehen, wo sie sich langsamer fortpflanzen, so erfolgt jede Undulation stets in demselben Zeitraume als zuvor, und die größere Dichtigkeit des zweiten Mittels hat keinen andern Einfluß, als die Wellenlänge in demselben Verhältnisse zu verkürzen, in welchem die Geschwindigkeit des Lichtes verlangsamt wird; denn die Wellenlänge ist gleich dem Raume, welchen die erste Erschütterung während einer vollständigen Oscillation durchläuft. Man kann also die relativen Geschwindigkeiten des Lichtes in den verschiedenen Mitteln berechnen, wenn man die Wellenlängen einer und derselben Strahlengattung in diesen Mitteln vergleicht. Die Mitte des centralen Streifens entsteht nun durch die Vereinigung der

Strahlen der beiden Bündel, welche vom leuchtenden Punkte aus gerechnet dieſelbe Anzahl Schwingungen vollbracht haben, welches auch übrigens die Beſchaffenheit der von dieſen Strahlen durchlaufenen Mittel ſein möge. Wenn alſo der centrale Streifen ſich nach der Seite desjenigen Bündels, das durch das Glasblättchen gegangen iſt, hin verſchiebt, ſo heißt dies, daß die Undulationen des Lichtes im Glaſe kürzer ſind, als in der Luft, und daß es folglich nothwendig iſt, daß der auf dieſer Seite zurückgelegte Weg der kürzere ſei, damit die Zahl der Schwingungen einer- und andererſeits dieſelbe werde. Geſetzt der centrale Streifen habe ſich z. B. um 20 Streifenbreiten, d. h. um das Zwanzigfache des Intervalles zwiſchen den Mitten zweier auf einander folgender dunkler Streifen verſchoben: ſo muß man daraus ſchließen, daß die Einſchaltung des Glasblättchens den Gang des durch daſſelbe hindurchgegangenen Bündels um 20 Wellen aufgehalten hat, oder mit andern Worten, daß dies Bündel in jenen Blättchen 20 Schwingungen mehr gemacht hat, als das andere Bündel in einer gleich dicken Luftſchicht, weil jede Streifenbreite einem Unterſchiede von einer Wellenlänge entſpricht. Kennt man alſo die Dicke jenes Blättchens und die Wellenlänge des angewandten Lichtes (die ſich nach einer von uns angegebenen Formel leicht aus der Meſſung der Streifen herleiten läßt), ſo kann man die Anzahl der in einer Luftſchicht von gleicher Dicke ausgeführten Schwingungen berechnen; fügt man 20 zu dieſer Zahl hinzu, ſo hat man die Anzahl der in der Dicke des Glasblättchens ausgeführten Schwingungen. Aus dem Verhältniß dieſer beiden Zahlen ergibt ſich das Verhältniß der Geſchwindigkeiten des Lichtes in dieſen beiden Mitteln. Man findet es nun gleich dem Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels beim Uebergange des Lichtes aus Luft in Glas; was, wie wir ſpäter ſehen werden, mit der Erklärung der Brechung durch die Theorie der Wellen übereinſtimmt.*)

„Das zuvor angegebene Verfahren bietet gewiſſe Schwierigkeiten

*) Man kann durch eben dieſen Verſuch auch umgekehrt mit einer außerordentlichen Genauigkeit die Dicke eines dünnen Blättchens einer Subſtanz, deren Brechungsvermögen man kennt, beſtimmen, wenn man daſſelbe in die Bahn eines der beiden Lichtbündel ſenkrecht auf ſeine Richtung ſtellt und die Verſchiebung der Streifen mißt.

dar, wenn man a priori das Brechungsvermögen eines viel dichtern Körpers als die Luft, z. B. des Waſſers oder des Glaſes beſtimmen will, weil man ein ſehr dünnes Blättchen dieſer Subſtanzen anwenden muß, wenn die Streifen nicht ganz und gar aus dem gemeinſchaftlichen Felde der beiden Lichtbündel hinausgehen ſollen, und es dann ſchwierig wird, die Dicke des Blättchens mit der nöthigen Genauigkeit zu meſſen. Man kann allerdings in die Bahn des andern Strahles eine dicke Platte einer durchſichtigen Subſtanz ſtellen, deren Brechungsverhältniß ſehr genau durch die gewöhnlichen Mittel beſtimmt worden iſt, was auch eine dicke Platte des neuen Körpers anzuwenden geſtattet; dann wird es aber einfacher, ſein Brechungsvermögen nach dem gewöhnlichen Verfahren zu meſſen.

„In dem Falle indeß, wo es ſich um die Ermittelung geringer Unterſchiede der Lichtgeſchwindigkeit in Mitteln, welche faſt gleich ſtark brechen, handelt, iſt das aus dem Arago'ſchen Verſuche hergeleitete Verfahren dem gewöhnlichen bedeutend überlegen; denn durch Verlängerung des Weges, welchen das Licht in den beiden Mitteln, deren brechende Kraft verglichen werden ſoll, durchläuft, kann man die Genauigkeit der Reſultate faſt ins Unendliche erhöhen. Um ſich eine Vorſtellung des hohen Grades von Genauigkeit, den man bei dieſen Meſſungen erreichen kann, zu machen, genügt es zu bemerken, daß die Länge der gelben Welle in der Luft $0{,}00055^{mm}$ beträgt, und alſo zwei Millionen derſelben auf eine Länge von $1{,}10^{mm}$*) gehen. Nun iſt leicht ein Unterſchied von $^1/_5$ Streifen, der einer Verzögerung oder Beſchleunigung um $^1/_5$ Undulation in dem Gange des Lichtes entſpricht, wahrzunehmen und da auf $1{,}10^{mm}$ zwei Millionen jener Schwingungen gehen, ſo würde ein Fünftel einer Undulation nur den zehnmillionſten Theil dieſer Länge ausmachen. Man würde alſo, wenn man ein Gas oder irgend einen Dampf in eine an den Enden durch

*) Ich nehme die Wellenlänge der gelben Strahlen, welche die hellſten des Spectrums ſind, und deren dunkle und helle Streifen folglich mit den wenigſt und den ſtärkſt erleuchteten Stellen der Streifen bei Anwendung von weißem Lichte zuſammenfallen, das gewöhnlich bei derartigen Verſuchen benutzt wird, ſowohl wegen ſeiner ſtärkern Helligkeit, als auch wegen der hervorſtechenderen Eigenſchaften, die es dem centralen Streifen ertheilt, bei deſſen Wahl man ſich vor Fehlgriffen hüten muß.

Glasplatten verschlossene Röhre von der genannten Länge einführte, bis auf Zehnmillionstel genau Aenderungen in ihrem Brechungsvermögen schätzen können. Mit einem ähnlichen Apparate haben Arago und ich den Unterschied in der Brechung der trocknen und der bei 30° mit Wasserdämpfen gesättigten Luft gemessen, der so klein ist, daß er jedem andern Beobachtungsverfahren entgehen würde, weil das größere Brechungsvermögen des Dampfes fast genau durch die geringere Dichtigkeit der feuchten Luft compensirt wird. In der Mehrzahl der Fälle erzeugt aber die geringste Mengung eines Dampfes oder Gases mit einem andern eine beträchtliche Verschiebung der Streifen; und wenn man eine Reihe derartiger sorgfältig ausgeführter Versuche hätte, so würde dieser Apparat ein kostbares Instrument für die chemische Analyse werden."]

LV.

Ueber ein Mittel die Intensität des Lichtes bei den Beugungsversuchen zu vermehren.

[Fresnel spricht sich in einer Note zu dem Supplemente von Thomson's Chemie S. 116 folgendermaßen aus:

„Arago hat ein schätzbares Mittel ausgedacht, um die Intensität des Lichtes bei den Beugungserscheinungen beträchtlich zu erhöhen, das mit Vortheil auf die Versuche, mit denen wir uns beschäftigen, angewendet werden kann. Es besteht darin, an die Stelle der kleinen Linse, welche den Lichtpunkt bildet, eine Linse zu setzen, deren Oberfläche nur in einer Richtung gekrümmt ist, und die also in ihrem Brennpunkte anstatt eines Punktes eine Lichtlinie erzeugt. Man hat dafür zu sorgen, diese cylindrische Linse in eine mit den Streifen parallele Richtung zu stellen, damit dieselben die möglichste Schärfe bekommen, was man leicht erreicht, indem man sie mit der Loupe betrachtet, während ein Anderer die cylindrische Linse langsam herumdreht. Die Streifen sind dann unvergleichbar glänzender, als wenn man eine sphärische Linse anwendet, weil die cylindrische Linse die Strahlen nur in einer Richtung divergiren läßt, und ihnen also eine viel größere Intensität erhält."

Ueber denselben Gegenstand hat Arago die folgende Notiz hinter-

laſſen, die ſich außerdem auf einen der Theile ſeines S. 266 ff. beſchriebenen Interferenzapparates bezieht.]

Von Anfang unſerer Unterſuchungen über die Beugungserſcheinungen an habe ich daran gedacht, die beiden Lichtpunkte, deren Strahlen zur Interferenz kommen, nicht mittelſt zweier Spiegel, ſondern mittelſt eines paſſend geſtellten Doppelprismas (bi-prisme) zu erhalten. Die Bedingungen, denen die Stellung dieſes Doppelprismas genügen muß, ſind erſt nach meinem Verſuche über den Einfluß eines in die Richtung des einen der interferirenden Bündel geſtellten Blättchens genau beſtimmt worden.

Um Verſuche über die Beugung anzuſtellen, begnügte man ſich ſonſt damit, das Licht durch ein mittelſt einer Nadel in eine ſehr dünne Metallplatte geſtochenes Loch in ein dunkles Zimmer einzuführen. Dieſes Verfahren hat man durch ein anderes erſetzt, das große Vorzüge darbietet. Man läßt die von dem Spiegel des Helioſtaten reflectirten Sonnenſtrahlen auf eine Linſe fallen, deren Brennweite z. B. 16^{mm} beträgt. Das Bild im Brennpunkte hat dann weniger als $^1/_{20}$ Millimeter Durchmeſſer. Von dieſem Bilde ausgehend bilden die Strahlen beim Divergiren einen viel breitern Lichtkegel als derjenige iſt, welcher beim Eintritte des Lichtes durch das Nadelloch entſteht.

Dieſe wichtige Modification in den experimentellen Hülfsmitteln, beſonders in denjenigen, welche ſich auf die Beugung und andere ähnliche Phänomen beziehen, rührt von mir her, wie es auch Fresnel in dem Supplemente zu Thomſon's Chemie, S. 10 anerkennt.

In meiner Notiz über den Einfluß eines in die Richtung des einen interferirenden Strahles eingeſchalteten Blättchens*) habe ich gezeigt, daß die innern Streifen ſich verſchieben, wenn einer der Strahlen, welche ſie durch ihre Interferenz bilden, durch ein Glasblättchen hindurchgegangen iſt. Die Verſchiebung iſt proportional der Dicke des eingeſchalteten Blättchens; ſie liegt ſtets nach der Seite hin, wo das Blättchen eingeſchaltet iſt; woraus folgt, daß das Licht ſich weniger ſchnell im Glaſe als in der Luft ſich bewegt.

Wie kommt es, daß bei der Anſtellung eines gleichbedeuten-

*) S. Bd. 7 der ſämmtlichen Werke S. 86.

den Verſuchs im Jahre 1831 Airy geglaubt hat, der Anführung der Notiz Arago's, welche derſelbe fünfzehn Jahre früher veröffentlicht hatte, ſich überheben zu können?

Airy hat allerdings ein Blättchen angewandt, das er mehr oder weniger gegen die Strahlen, welche durch daſſelbe hindurchgingen, neigte; dieſe Einrichtung war aber bereits an den bei unſern Optikern käuflichen Inſtrumenten angebracht, um die Streifen auf ihre urſprüngliche Lage zurückzuführen, wenn das eine der interferirenden Bündel eine weniger dichte Luftſchicht durchlaufen hat als diejenige, durch welche das andere Bündel gegangen iſt.

Um die Zweifel zu heben, welche man über den Einfluß hätte hegen können, den die Verrückung des leuchtenden Punktes infolge der Neigung des Glasblättchens ausübt, hatte ich einen aus zwei in entgegengeſetztem Sinne beweglichen Platten beſtehenden Compenſator, bei welchem alſo der leuchtende Punkt völlig unbewegt bleibt, conſtruiren laſſen.

Inhaltsverzeichniß

des zehnten Bandes.

Seite

Abhandlung über die Farben dünner Blättchen 3
Abhandlung über die farbige Polarisation 31
Bemerkungen über die Phänomene der Polarisation des Lichtes 60
Vierte Abhandlung über mehrere neue optische Phänomene 78
Abhandlung über die brechenden und zerstreuenden Kräfte gewisser Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe 97
Abhandlung über die Wirkung, welche polarisirte Lichtstrahlen auf einander ausüben 105
Abhandlung über die Mittel, die meisten photometrischen Fragen zu lösen, zu welchen die Entdeckung der Lichtpolarisation Veranlassung gegeben hat . 120
Ueber das Gesetz, nach welchem sich ein polarisirter Lichtstrahl zwischen dem regelmäßigen und unregelmäßigen Bilde theilt, wenn er durch einen doppeltbrechenden Krystall geht 122
Erste Abhandlung über Photometrie. — Experimenteller Beweis des Gesetzes des Cosinusquadrats 134
Zweite Abhandlung über Photometrie. — Construction der Tafel über die von einer Glasplatte mit parallelen Flächen zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichtmengen 147
Dritte Abhandlung über Photometrie 174
I. Bestimmung der von einer Glasplatte unter sehr großen Winkeln reflectirten und durchgelassenen Lichtmengen 174
II. Ermittelung des Lichtverlustes an der Oberfläche der Metalle 178
III. Angeblicher Lichtverlust in dem Acte der totalen Reflexion 181
IV. Angeblicher Lichtverlust im Acte der Zurückwerfung an der ersten und zweiten Fläche des Glases unter größeren Incidenzen als denjenigen, bei welchen die totale Reflexion eintritt 183

Seite

V. Empfindlichkeit des Polariskops 185
Vierte Abhandlung über Photometrie. — Physische Constitution der Sonne . 187
Fünfte Abhandlung über Photometrie 204
I. Intensität des atmosphärischen Lichtes in der Nähe der Sonne . . . 204
II. Eine mäßige Bewegung erleichtert die Sichtbarkeit der Gegenstände . 207
Sechste Abhandlung über Photometrie 212
I. Physische Constitution und Photometrie der Fixsterne 212
II. Experimentelle Graduirung des Polarimeters 220
III. Farbegradmesser. — Cyanometer 226
Siebente Abhandlung über Photometrie. — Anwendung auf die Lösung verschiedener Probleme aus der Astronomie und Meteorologie 231
I. Bestimmung der Höhe der Wolken 231
II. Relative Intensitäten des von den verschiedenen Theilen der Mondoberfläche nach der Erde hin reflectirten Lichtes 237
III. Untersuchung des aschfarbenen Lichtes 240
IV. Untersuchung des Lichtes des Jupiter und seiner Monde. — Verschwinden dieses Planeten und seiner Monde 241
Abhandlung enthaltend Vorschläge zu Versuchen, welche nothwendig erscheinen, um die bereits im Jahre 1815 und in den folgenden Jahren erhaltenen Resultate über das Maximum der Dichtigkeit des Wassers, über die Refraction des Wassers unter verschiedenem Drucke, über den Einfluß der Temperatur auf die Refraction der Körper und über die Refraction des mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkten Hydrophans zu vervollständigen 244
I. Einleitung 244
II. Ueber das Maximum der Dichtigkeit des Wassers 247
III. Refraction des Wassers unter verschiedenem Drucke 252
IV. Einfluß der Temperatur auf die Refraction der Körper 254
V. Ueber die Refraction des mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkten Hydrophans 254
Abhandlung über die Anwendung der Methode der Interferenzen zur Bestimmung der Brechungscoefficienten 257
I. Beschreibung der verschiedenen, auf die Lehre von den Interferenzen gegründeten Instrumente, mittelst deren sich die Brechungscoefficienten aller Körper unter Umständen, wo die gewöhnlichen Verfahren zur Messung gänzlich unzulänglich sein würden, bestimmen lassen 257
II. Historische Bemerkungen über die Bestimmung der Brechungsexponenten der feuchten und der mit Dünsten beladenen Luft 271

Anhang.

I. Bemerkungen über einige optische Erscheinungen, welche sich auf die Abhandlung vom 18. Februar 1811, auf die Abhandlung über farbige Po-

Seite

larisation vom 11. August 1811 und auf die Abhandlung über mehrere neue optische Phänomene vom 14. December 1812 beziehen . 276

II. Von den eigenthümlichen Veränderungen, welche die durch Firnisse gebildeten farbigen Ringe darbieten 281

III. Untersuchung der durch die Berührung eines Metallspiegels und einer Linse erzeugten Ringe 286

IV. Beobachtung der durch die Berührung einer Linse und eines dicken Planglases erzeugten Ringe 289

V. Farbenänderung in den farbigen Ringen durch Vorsetzen eines undurchsichtigen Körpers 289

VI. Einfluß verschiedener Flüssigkeiten auf die farbigen Ringe . . . 292

VII. Ueber die Ursachen der farbigen Ringe 292

VIII. Irisirende Farben verschiedener Körper 294

IX. Historische Bemerkungen über die farbigen Ringe 297

X. Ueber die Complementärfarben 300

XI. Ueber die Glimmmerblättchen, welche ihre Krystallisation verloren zu haben scheinen 301

XII. Ueber die Farben des Gypses 301

XIII. Ueber die Wirkung der Körper auf das Licht 303

XIV. Ueber die Phänomene, welche die Säulen aus Glasplatten zeigen . 305

XV. Bericht an die Akademie der Wissenschaften, erstattet im Namen der Commission, die mit der Prüfung der Abhandlungen beauftragt war, welche die Akademie bezüglich der Preisaufgabe über die Beugung erhalten hatte 307

XVI. Tabelle über die Bahnen der Streifen von verschiedenen Ordnungen, bezogen auf die Sehnen, welche durch die beiden äußersten Lagen dieser Streifen gehen 316

XVII. Experimentelle Beweise, daß Beschaffenheit und Gestalt des dunkeln Körpers auf die Lage der Beugungsstreifen keinen Einfluß ausüben 319

XVIII. Versuche zur Ermittelung der Strahlen, die zur Erzeugung der Streifen beitragen 321

XIX. Versuche in Bezug auf die Verification der Wellenlänge eines rothen Strahles 324

XX. Versuche über die Bestimmung der relativen Intensitäten der Streifen 327

XXI. Bericht über eine auf die Farben doppeltbrechender krystallisirter Blättchen bezügliche Abhandlung Fresnel's 329

XXII. Prüfung von Biot's Bemerkungen in Betreff des Berichtes über die auf die Farben der krystallisirten doppeltbrechenden Blättchen sich beziehende Abhandlung Fresnel's 347

XXIII. Bericht über eine auf die Doppelbrechung bezügliche Abhandlung Fresnel's 362

Seite

XXIV. Ueber das Gesetz des Cosinusquadrats in Bezug auf die Intensität des polarisirten Lichtes nach seinem Durchgange durch einen doppelbrechenden Krystall 368

XXV. Ueber das Verhältniß zwischen dem Lichte, welches durch Reflexion polarisirt wird, und demjenigen, welches in demselben Augenblicke die entgegengesetzte Polarisation annimmt 381

XXVI. Ueber das Leslie'sche Photometer 391

XXVII. Interferenzen der chemischen Wirkungen des Lichtes 394

XXVIII. Beobachtungen über das Licht bei der Compression der Luft und des Sauerstoffes 400

XXIX. Ueber die relativen Intensitäten verschiedener Lichtquellen . . . 401

XXX. Ueber die relative Intensität der verschiedenen Theile der Sonnenscheibe 407

XXXI. Notiz über Bouguer's Versuche in Betreff der Lichtintensität des Randes und des Mittelpunktes der Sonne 409

XXXII. Verfahren um die Intensitäten der verschiedenen Theile der Sonnenscheibe zu vergleichen 409

XXXIII. Ueber die Vertheilung der Wärme auf der Oberfläche der Sonnenscheibe 410

XXXIV. Ueber eine der Wirkungen der Fernröhre auf die Sichtbarkeit der Sterne 414

XXXV. Ueber die Ursachen, welche die Sterne während des Tages verschwinden lassen 417

XXXVI. Ueber das undeutliche Sehen 418

XXXVII. Ueber die Erscheinungen des Halbsehens 419

XXXVIII. Ueber die Art von Augenaffection, die mit dem Namen Hemeralopie bezeichnet wird 423

XXXIX. Von dem Einflusse der Bewegung auf die Sichtbarkeit der Gegenstände 424

XL. Vom Einflusse des Phänomens der Interferenzen auf das Sehen 425

XLI. Ueber die Benutzung der Säulen aus Glasplatten zur Erforschung der Gesetze der Polarisation 427

XLII. Bestimmung des Winkels, unter welchem das Licht von verschiedenen Substanzen vollständig polarisirt wird 442

XLIII. Prüfung des Diamanten durch die Polarisation 444

XLIV. Peltier's Aufsatz über die atmosphärische Cyanometrie und Polarimetrie 446

XLV. Polarisation der Atmosphäre 448

XLVI. Ueber eine von Arago und Laugier beobachtete atmosphärische Erscheinung 459

XLVII. Polarisation des Lichtes der Höfe 461

Seite

XLVIII. Beobachtungen über das Licht des Mondes 462
XLIX. Bemerkungen über das aschfarbene Licht 467
L. Bemerkungen über die Brechung des Wassers bei Temperaturen in der Nähe des Dichtigkeitsmaximums 469
LI. Einflüsse, welche auf die Brechung der Körper wirken 476
LII. Mit einem Glasprisma beobachtete Polarisationsphänomene . . 477
LIII. Ueber den Hydrophan 478
LIV. Ueber die Bestimmung der Brechungscoefficienten durch die Methode der Interferenzen 479
LV. Ueber ein Mittel die Intensität des Lichtes bei den Beugungsversuchen zu vermehren 484

Verzeichniß der Figuren

des zehnten Bandes.

Fig.		Seite
1.	— Gesichtsfeld im Polariskop	131
2.	— Keilförmige Bergkrystallplatte	153
3.	— Umgekehrte keilförmige Bergkrystallplatte	153
4.	— In der Mitte, aber nicht an den Enden doppeltbrechende Bergkrystallplatte	153
5.	— Zusammensetzung eines Lichtbündels, das von einer Glasplatte mit parallelen Flächen zurückgeworfen ist und aus dem von einem Schirme ausgesandten Lichte stammt	155
6.	— Perspectivische Ansicht des Arago'schen Photometers	156
7.	— Grundriß des Arago'schen Photometers	157
8.	— Geschwärzte Metallplatte, in welche eine horizontale Spalte eingeschnitten ist	159
9.	— Arago's Polarimeter	225
10.	— Arago's Cyanometer	229
11.	— Apparat zur Messung der Refraction des Wassers bei verschiedenen Temperaturen mittelst der Interferenzen	230
12.	— Apparat zur Messung der Refraction des Wassers unter verschiedenem Drucke	232
13.	— Ideeller horizontaler Durchschnitt von Arago's Interferenzapparat zur Messung der Brechungen	264
14.	— Grundriß des Arago'schen Interferenzapparates	264
15.	— Ansicht des Arago'schen Apparates, um durch die Interferenzen den Brechungsexponenten der mit Dunst beladenen Luft zu bestimmen	265
16.	— Einführung des Lichtbündels in den Arago'schen Interferenzapparat	267
17.	— Verfahren, um Dünste in den Arago'schen Interferenzapparat einzuführen	268
18.	— Röhren, welche bei der Bestimmung des Brechungsexponenten der Flüssigkeiten in den Arago'schen Apparat gebracht werden	268

Fig. Seite
19. — Aufeinanderfolge der Farben, die ein Gypsblättchen im reflectirten Lichte zeigt 303
20. — Ermittelung, der zur Erzeugung der Streifen beitragenden Strahlen 321
21. — Interferenzen der von zwei unter einem sehr kleinen Winkel aneinander stoßenden Spiegeln reflectirten Wellen 397
22. — Beobachtung eines von einem Spiegel reflectirten und durch ein rechtwinkliges Crownglasprisma hindurchgegangenen Strahles mittelst eines Kalkspathprismas 478
23. — Beobachtung eines durch die beiden parallelen Flächen eines rechtwinkligen Crownglasprismas hindurchgegangenen Strahles mittelst eines Kalkspathprismas 479